



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES
Y REDES

**“ESTUDIO Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA
TECNOLOGÍA 802.15.7 PARA SISTEMAS DE
COMUNICACIONES INALÁMBRICAS CON RESPECTO A LA
TECNOLOGÍA 802.11n”**

Trabajo de titulación presentado para optar el grado académico de:
**INGENIERA EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

AUTORA: TIXI YAGOS DEYSI MERCEDES
TUTOR: ING. OSWALDO GEOVANNY MARTÍNEZ GUASHIMA

RIOBAMBA – ECUADOR

2016

©2016, Deysi Mercedes Tixi Yagos

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

DEYSI MERCEDES TIXI YAGOS

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y
REDES

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: “ESTUDIO Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA TECNOLOGÍA 802.15.7 PARA SISTEMAS DE COMUNICACIONES INALÁMBRICAS CON RESPECTO A LA TECNOLOGÍA 802.11n”, es de responsabilidad de la señorita Deysi Mercedes Tixi Yagos, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

RESPONSABLE	FIRMA	FECHA
Ing. Washington Luna DECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA	_____	_____
Ing. Franklin Moreno DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES	_____	_____
Ing. Oswaldo Martínez DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	_____
Dr. Geovanny Vallejo MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	_____

Yo, Deysi Mercedes Tixi Yagos soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de titulación y el patrimonio intelectual de este trabajo de titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

DEYSI MERCEDES TIXI YAGOS

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación dedico con mucho amor y cariño a mis padres, hermanos y esposo por confiar en mi capacidad para cumplir esta meta, por apoyarme económica y moralmente, además para las personas que estaban en los buenos y malos momentos.

A mi hijo André por ser mi motivación e inspiración para salir adelante.

Deysi

AGRADECIMIENTO

El sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión. A sus autoridades y docentes, en especial a mi director del presente trabajo de titulación por su ayuda y por compartir sus conocimientos.

Agradezco a Dios por cuidarme durante el sendero universitario recorrido. A mis padres Ángel y Marina, hermanos Edison, Elena, Carmita, Patricio, José, esposo Cristian por su apoyo incondicional, por su sacrificio y esfuerzo, por guiarme día a día y comprenderme para alcanzar mi meta, en especial agradezco a mi Hermana Olga, porque formó un pilar fundamental para cumplir este sueño anhelado.

Deysi

TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	iii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
TABLA DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xvi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xvii
RESUMEN.....	xix
SUMMARY.....	xx

INTRODUCCIÓN.....	1
-------------------	---

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO	7
---------------------	---

1.1.	Comunicación Inalámbrica.....	7
1.1.1.	Origen.....	7
1.1.2.	Concepto	7
1.1.3.	Tipos de red inalámbrica	8
1.1.3.1.	WPAN: Wireless Personal Area Network	8
1.1.3.2.	WMAN: Wireless Metropolitan Area Network	8
1.1.3.3.	WWAN: Wireless Wide Area Network.....	9
1.2.	Lifi (802.15.7)	9
1.2.1.	Historia de Lifi.	9
1.2.2.	¿Qué es Lifi?	9
1.2.3.	Funcionamiento de Lifi.	10
1.2.4.	Estándar IEEE 802.15.7	10
1.2.4.1.	Introducción.	10
1.2.4.2.	Características	11
1.2.4.3.	Topologías de red	12
1.2.4.3.1.	Topología punto a punto (peer-to-peer).....	12
1.2.4.3.2.	Topología estrella (star).....	12
1.2.4.3.3.	Topología de transmisión (broadcast).....	13
1.2.4.4.	Arquitectura.....	13
1.2.4.5.	Capa Física	14
1.2.4.5.1.	Tipos de capa física	14
1.2.4.6.	Subcapa MAC	15
1.2.4.7.	Esquemas de Modulación de datos.....	15
1.2.4.7.1.	OOK con codificación Manchester.....	15
1.2.4.7.2.	Pulso Variable Position Modulation (VPPM).....	16
1.2.4.7.3.	Modulación por desplazamiento de color (CSK).....	17
a)	4-CSK.....	18

b)	8-CSK.....	19
c)	16-CSK.....	19
1.2.4.8.	Modos de operación de las capas física (I, II, III).....	20
1.2.4.8.1.	Modos de operación de la capa física I.....	20
a)	Diagrama del modulador para PHY I.....	22
1.2.4.8.2.	Modos de operación de la capa física II.....	22
a)	Diagrama del modulador para PHY II.....	23
1.2.4.8.3.	Modos de operación de la capa física III.....	24
a)	Diagrama del modulador para PHY III.....	24
1.2.4.9.	Sistema de codificación y modulación de 802.15.7.....	25
1.2.5.	Parámetros de las ondas Lifi.....	26
1.2.5.1.	Transmisión.....	26
1.2.5.2.	Propagación.....	26
1.2.5.2.1.	Reflexión.....	27
1.2.5.2.2.	Difracción.....	27
1.2.5.2.3.	Refracción.....	27
1.2.5.2.4.	Absorción.....	27
1.2.5.3.	Atenuación.....	27
1.2.5.4.	Dispersión.....	27
1.2.6.	Ventajas y Desventajas de Lifi.....	28
1.2.6.1.	Ventajas.....	28
1.2.6.2.	Desventajas.....	29
1.2.7.	Lifi y el medio ambiente.....	29
1.2.8.	Diseño de red Lifi.....	30
1.2.9.	Aplicaciones Lifi.....	30
1.2.10.	Dispositivos Lifi.....	31
1.2.10.1.	Focos LED Lifi.....	31
1.2.10.2.	Tubos LED Lifi.....	32
1.2.10.3.	Luces LED Lifi Empotrables.....	32
1.2.10.4.	Ampolletas LED Lifi.....	32
1.2.10.5.	Placas LED Lifi.....	33
1.2.10.6.	Driver para conexión con Lifi.....	33
1.2.10.6.1.	Driver LBS.....	33
1.2.10.6.2.	Driver LBS de alta tensión.....	34
1.2.10.6.3.	Driver LBS para ampolletas.....	34
1.2.10.6.4.	Driver LBS para tubos T8.....	34
1.2.10.7.	Llave Lifi para GEOLifi.....	35
1.2.10.8.	Conector USB portátil ONEWAYLifi.....	35
1.3.	Wifi (802.11n).....	36
1.3.1.	Historia de Wifi.....	36
1.3.2.	¿Qué es Wifi?.....	37
1.3.3.	Funcionamiento Wifi.....	37
1.3.4.	Norma 802.11 o Wifi.....	37
1.3.5.	Estándares certificados por Wifi (802.11).....	38
1.3.5.1.	IEEE - 802.11b.....	38
1.3.5.2.	IEEE - 802.11a.....	39
1.3.5.3.	IEEE - 802.11g.....	39
1.3.6.	Estándar IEEE - 802.11n.....	39
1.3.6.1.	MIMO.....	40
1.3.6.1.1.	¿Cómo funciona MIMO?.....	41
1.3.6.1.2.	Transmisor MIMO-OFDM.....	41
1.3.6.2.	Modulaciones en 802.11n.....	42
1.3.6.2.1.	OFDM (Multiplexación por División en Frecuencias Ortogonales).....	42
a)	Estructura OFDM.....	44
b)	¿Cómo se genera un símbolo OFDM?.....	44

c)	Modulación QAM, 16- QAM y 64-QAM	46
d)	Modulación PSK, BPSK y QPSK	47
1.3.6.2.2.	DSSS (Espectro Ensanchado por Secuencia Directa)	48
1.3.6.3.	Características de 802.11n	49
1.3.6.3.1.	Mejoras de radio	49
1.3.6.3.2.	Mejoras en la MAC	50
1.3.6.4.	Arquitectura 802.11n	51
1.3.6.5.	MCS (Modulation and Coding Scheme) de 802.11n	51
1.3.7.	Parámetros de ondas Wifi	52
1.3.7.1.	Transmisión	52
1.3.7.2.	Propagación	52
1.3.7.2.1.	Reflexión	53
1.3.7.2.2.	Difracción	54
1.3.7.2.3.	Refracción	54
1.3.7.2.4.	Absorción	54
1.3.7.3.	Atenuación	54
1.3.7.4.	Dispersión	55
1.3.8.	Ventajas y Desventajas de 802.11n	56
1.3.8.1.	Ventajas	56
1.3.8.2.	Desventajas	57
1.3.9.	Sistemas de Seguridad de las redes Wifi	57
1.3.10.	Wifi y el Medio Ambiente	57
1.3.11.	Diseño de red Wifi	58
1.3.12.	Aplicaciones Wifi	59
1.3.13.	Tipos de hardware Wifi	59
1.3.13.1.	Adaptadores inalámbricos	59
1.3.13.2.	Los puntos de acceso	60
1.3.13.2.1.	Modo AP o infraestructura	60
1.3.13.2.2.	Modo WDS (Wireless Distribution System)	60
1.3.13.2.3.	Modo WDS con AP	60
1.3.13.2.4.	Modo Repeater (también denominado modo Range Extender)	61
1.3.13.2.5.	Modo Wireless Client	61

CAPITULO II

MARCO METODOLÓGICO62

2.1.	Metodología de la Investigación	62
2.1.1.	Tipo de investigación	62
2.1.2.	Método de investigación	62
2.1.3.	Técnicas de investigación	63
2.2.	Metodología de la Comparación	63
2.2.1.	Parámetro de Transmisión	64
2.2.1.1.	Valoración	65
2.2.1.2.	Calificación	68
2.2.1.3.	Interpretación de resultados	71
2.2.2.	Parámetro de Propagación	71
2.2.2.1.	Valoración	72
2.2.2.2.	Calificación	74
2.2.2.3.	Interpretación de resultados	77
2.2.3.	Parámetro de Atenuación	77
2.2.3.1.	Valoración	78
2.2.3.2.	Calificación	79
2.2.3.3.	Interpretación de resultados	82

2.2.4.	Parámetro de Dispersión.....	82
2.2.4.1.	Valoración	83
2.2.4.2.	Calificación	84
2.2.4.3.	Interpretación de resultados.....	87
2.2.5.	Parámetro de Modulaci3n.....	87
2.2.5.1.	Valoraci3n	88
2.2.5.2.	Calificaci3n	90
2.2.5.3.	Interpretaci3n de resultados.....	93

CAPITULO III

MARCO DE RESULTADOS.....94

3.1.	Metodolog3a de Resultados	94
3.1.1.	Análisis FODA de la tecnolog3a Lifi (802.15.7) y Wifi (802.11n)	94
3.1.1.1.	FODA Lifi (802.15.7)	95
3.1.1.2.	FODA Wifi (802.11n)	96
3.1.2.	Parámetros de transmisi3n, propagaci3n, atenuaci3n, dispersi3n y modulaci3n ...	97
3.1.2.1.	Descripci3n de Resultados	97
3.1.2.2.	Puntuaci3n Parcial	97
3.1.2.3.	Puntuaci3n Total	98
3.1.3.	Variantes Lifi y Wifi	99
3.1.4.	Equipos Lifi y Wifi.....	100
3.1.4.1.	Características de equipos Lifi	100
3.1.4.2.	Características de equipos Wifi	104
3.1.4.3.	Costo/ Beneficio Lifi y Wifi.....	108

CONCLUSIONES110

RECOMENDACIONES111

BIBLIOGRAFÍA.....112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Representación de valores lógicos en la modulación VPPM.....	16
Tabla 2-1: Coordenadas en el plano xy del color	17
Tabla 3-1: Modos de operación de PHY I.....	20
Tabla 4-1: Codificación Manchester	21
Tabla 5-1: Código 4B6B	21
Tabla 6-1: Modos de operación de PHY II.....	22
Tabla 7-1: Código 8B10B	23
Tabla 8-1: Modos de operación de PHY III	24
Tabla 9-1: Sistema de codificación y modulación de 802.15.7.....	25
Tabla 10-1: Comparación (BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM).....	47
Tabla 11-1: Sistema de Codificación y Modulación de 802.11n	52
Tabla 12-1: Grado de atenuación en algunos materiales.....	53
Tabla 1-2: Importancia de los parámetros	64
Tabla 2-2: Rango de operación de los índices de transmisión en Lifi y Wifi.....	65
Tabla 3-2: Valoración para la confiabilidad en función de la frecuencia.....	66
Tabla 4-2: Valoración al rango de velocidad	67
Tabla 5-2: Valoración al rango del ancho de banda.....	68
Tabla 6-2: Calificación a los índices de transmisión.	68
Tabla 7-2: Valores finales de los índices y sus porcentajes	69
Tabla 8-2: Valores y porcentajes finales de transmisión.....	70
Tabla 9-2: Rango de trabajo de los índices de propagación en Lifi y Wifi.....	71
Tabla 10-2: Valoración al rango de Alcance	72
Tabla 11-2: Valoración al rango de la velocidad de propagación.....	73
Tabla 12-2: Valoración a la perjudicación de la salud.....	74
Tabla 13-2: Calificación a los índices de propagación.	74
Tabla 14-2: Valores de los índices y porcentajes parciales en propagación	75
Tabla 15-2: Valores y porcentajes finales de propagación	76
Tabla 16-2: Rango de operación de los índices de atenuación en Lifi y Wifi.....	77
Tabla 17-2: Valoración para la pérdida de la señal en función de la distancia	78
Tabla 18-2: Valoración al rango del grado de atenuación por obstáculos	79
Tabla 19-2: Calificación a los índices de atenuación.....	79
Tabla 20-2: Valores finales de los índices y sus porcentajes	80
Tabla 21-2: Valores y porcentajes finales de atenuación	81
Tabla 22-2: Rango de trabajo de los índices de dispersión en Lifi y Wifi	82
Tabla 23-2: Valoración para el índice de refracción	83

Tabla 24-2. Valoración al rango de longitud de onda	84
Tabla 25-2. Calificación a los índices de dispersión	84
Tabla 26-2: Valores finales de los índices y sus porcentajes	85
Tabla 27-2: Valores y porcentajes finales de dispersión	86
Tabla 28-2: Modulación en 802.11n y 802.15.7	87
Tabla 29-2: Modulaciones en Wifi (802.11n).....	87
Tabla 30-2: Modulaciones en Lifi (802.15.7).....	88
Tabla 31-2: Rango de trabajo de los índices de modulación en Lifi y Wifi.....	88
Tabla 32-2: Valoración para el Data rate.....	89
Tabla 33-2: Valoración al FEC	89
Tabla 34-2: Calificación a los índices de modulación	90
Tabla 35-2: Valores finales de los índices y sus porcentajes	91
Tabla 36-2: Valores y porcentajes finales de modulación	92
Tabla 1-3: Puntajes parciales de los índices	97
Tabla 2-3: Puntajes totales de los parámetros.....	98
Tabla 3-3: Variantes Lifi y Wifi.....	99
Tabla 4-3: Costo / Beneficio Lifi y Wifi	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Fotófono	7
Figura 2-1. Tipos de red inalámbrica	8
Figura 3-1. Funcionamiento de Lifi	10
Figura 4-1. Espectro de luz visible	11
Figura 5-1. Topologías de red en 802.15.7	12
Figura 6-1. Arquitectura 802.15.7	13
Figura 7-1. Modulación OOK	15
Figura 8-1. Modulación VPPM.....	16
Figura 9-1. Modulación CSK	17
Figura 10-1. Ubicación de coordenadas xy en el plano CSK	18
Figura 11-1. Modulación 4-CSK.....	18
Figura 12-1. Modulación 8-CSK.....	19
Figura 13-1. Modulación 16-CSK.....	20
Figura 14-1. Diagrama del modulador PHY I	22
Figura 15-1. Diagrama del modulador PHY II.....	23
Figura 16-1. Diagrama del modulador PHY III.....	25
Figura 17-1. Dispersión de la luz	28
Figura 18-1. Diseño de red Lifi.....	30
Figura 19-1. Focos LED Lifi.....	31
Figura 20-1. Tubos LED Lifi	32
Figura 21-1. Luces LED Lifi Empotrables	32
Figura 22-1. Ampolletas LED Lifi	32
Figura 23-1. Placas LED Lifi	33
Figura 24-1. Driver LBS	33
Figura 25-1. Driver de alta tensión.....	34
Figura 26-1. Driver para ampolletas.....	34
Figura 27-1. Driver para tubos T8.....	34
Figura 28-1. Lave Lifi para GeoLifi.....	35
Figura 29-1. Conector USB portátil ONEWAY	35
Figura 30-1. Funcionamiento Wifi	37
Figura 31-1. Diagrama de MIMO	40
Figura 32-1. Bloques principales de un transmisor MIMO-OFDM.....	41
Figura 33-1. Diagrama OFDM.....	43

Figura 34-1. Modulación BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM con OFDM	46
Figura 35-1. Modulación DSSS	48
Figura 36-1. Canales de 20 MHz y 40 MHz.....	49
Figura 37-1. Cabecera de la trama 802.11	50
Figura 38-1. Frame Aggregation	50
Figura 39-1. Arquitectura 802.11n	51
Figura 40-1. Propagación de ondas Wifi	53
Figura 41-1. Reflexión de ondas Wifi	53
Figura 42-1. Atenuación de ondas Wifi	55
Figura 43-1. Patrón de cobertura de 802.11n	57
Figura 44-1. Diagrama de red Wifi	58
Figura 45-1. Adaptadores inalámbricos	60
Figura 1-2. Gráfico de los rangos de la frecuencia	66
Figura 2-2. Gráfico de los rangos de la velocidad	67
Figura 3-2. Gráfico de los rangos del ancho de banda.....	68
Figura 4-2. Gráfico de porcentajes de los índices de transmisión.....	69
Figura 5-2. Gráfico de porcentajes de transmisión en Lifi y Wifi	71
Figura 6-2. Gráfico de los rangos del alcance	72
Figura 7-2. Gráfico de la velocidad de propagación.....	73
Figura 8-2. Gráfico de los rangos de la potencia de transmisión	74
Figura 9-2. Gráfico de los porcentajes de los índices de propagación	75
Figura 10-2. Gráfico de porcentajes de propagación en Lifi y Wifi	77
Figura 11-2. Gráfico de los rangos de la distancia	78
Figura 12-2. Gráfico de los rangos de atenuación	79
Figura 13-2. Gráfico de porcentajes de los índices de atenuación	80
Figura 14-2. Gráfico de porcentajes de atenuación en Lifi y Wifi.....	82
Figura 15-2. Gráfico del índice de refracción.....	83
Figura 16-2. Gráfico de los rangos de longitud de onda.....	84
Figura 17-2. Gráfico de porcentajes de los índices de dispersión	85
Figura 18-2. Gráfico de porcentajes de dispersión en Lifi y Wifi.....	86
Figura 19-2. Gráfico de los rangos del data rate.....	89
Figura 20-2. Gráfico del FEC.....	90
Figura 21-2. Gráfico de porcentajes de los índices de modulación	91
Figura 22-2. Gráfico de porcentajes de modulación de Lifi y Wifi	92
Figura 1-3. Análisis FODA Lifi (802.15.7).....	95
Figura 2-3. Análisis FODA Wifi (802.11n)	96
Figura 3-3. Gráfico del Porcentaje final en Lifi y Wifi	99

Figura 4-3. GEOLifi XS KIT	100
Figura 5-3. GEOLifi WW12 ROUND KIT	101
Figura 6-3. GEOLifi SPOT KIT	101
Figura 7-3. GEOLifi CW12 ROUND KIT	102
Figura 8-3. GEOLifi CW10 SQUARE KIT	102
Figura 9-3. WW10 SQUARE KIT	103
Figura 10-3. Router D-Link Dir 6051	104
Figura 11-3. Router TP-LINK TL-WR841HP	105
Figura 12-3. Router TP-LINK TL-WR841ND.....	105
Figura 13-3. Router Netis Wf2409.....	106
Figura 14-3. Router Tp-link Tl-wr842nd	107
Figura 15-3. Router Tp-Link Wa901nd.....	107

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1: Atenuación	54
Ecuación 1-2: Longitud de onda	65
Ecuación 2-2: Frecuencia	65
Ecuación 3-2: Pérdidas en el espacio libre	66
Ecuación 4-2: Porcentaje parcial Lifi	69
Ecuación 5-2: Porcentaje parcial Wifi	69
Ecuación 6-2: Sumatoria de índices	70
Ecuación 7-2: Porcentaje total del índice	70
Ecuación 8-2: Velocidad de propagación (v)	73

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ACK	ACKNOWLEDGMENT
ADC	CONVERTIDOR ANALÓGICO-DIGITAL
ADSL	LÍNEA DE ABONADO DIGITAL ASIMÉTRICA
AP	ACCESS POINT
BPSK	BINARY PHASE SHIFT KEYING
CC	CONVOLUTIONAL CODE
CSK	COLOR-SHIFT KEYING
CSMA/CA	CARRIER SENSE MULTIPLE ACCESS WITH COLLISION AVOIDANCE
DME	DEVICE MANAGMENTE ENTITY
DBPSK	DIFFERENTIAL BINARY PHASE SHIFT KEYING
DQPSK	DIFFERENTIAL QUADRATURE PHASE SHIFT KEYING
DSSS	DIRECT SEQUENCE SPREAD SPECTRUM
EE	EFICIENCIA ESPECTRAL
FEC	FORMARD ERROR CONNECTION
IFFT	INVERSE FAST FOURIER TRANSFORM
ISM	INDUSTRIAL SCIENTIFIC AND MEDICAL
ISP	PROVEEDOR DE SERVICIOS DE INTERNET
LDs	LASER DIODES
LED	LIGHT-EMITTING DIODE
LIFI	LIGHT FIDELITY
LLC	LOGICAL LINK CONTROL
LMDS	LOCAL MULTIPOINT DISTRIBUTION SERVICE
MAC	MEDIA ACCESS CONTROL
MCPS	MEDIUM-ACCESS-CONTROL COMMON- PART SUBLAYER
MCS	MODULATION AND CODING SCHEME
MIMO	MULTIPLE INPUT- MULTIPLE OUTPUT
MLME	MEDIUM-ACCESS-CONTROL LINK-MANAGEMENT ENTITY
MSDU	MAC SERVICE DATA UNIT
MPPU	MESSAGE PROTOCOL DATA UNIT
NIC	NETWORK INTERFACE CONTROLLER
OFDM	ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING
OOK	ON-OFF KEYING

PAN	PERSONAL AREA NETWORK
PHY	PHYSICAL LAYER
PHR	PHYSICAL LAYER HEADER
PLME	PHYSICAL-LAYER MANAGEMENT ENTITY
PSDU	PHY SERVICE DATA UNIT
PSK	PHASE SHIFT KEYING
PWLAN	PUBLIC WIRELESS LOCAL AREA NETWORK
QAM	QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION
QoS	CALIDAD DE SERVICIO
QPSK	QUADRATURE PHASE SHIFT KEYING
RF	RADIO FREQUENCY
RGB	REED GREEN BLUE
RLL	RUN-LENGTH LIMITED
RS	REED-SOLOMEN
SAP	SERVICE ACCESS POINT
SNR	RELACIÓN SEÑAL-RUIDO
SSCS	SERVICE-SPECIFIC CONVERGENCE SUBLAYER
SSID	SERVICE SET IDENTIFICATION
UMTS	UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATIONS SYSTEM
UNII	INFRAESTRUCTURA DE INFORMACIÓN NACIONAL SIN LICENCIA
VLC	VISIBLE-LIGHT COMMUNICATION
VPAN	VISIBLE-LIGHT COMMUNICATION PERSONAL AREA NETWORK
VPPM	PULSO VARIABLE POSITION MODULATION
WDS	WIRELESS DISTRIBUTION SYSTEM
WIFI	WIRELESS FIDELITY
WIMAX	WORLDWIDE INTEROPERABILITY FOR MICROWAVE ACCESS
WLAN	WIRELESS LOCAL AREA NETWORK
WMAN	WIRELESS METROPOLITAN AREA NETWORK
WPAN	WIRELESS PERSONAL AREA NETWORK
WQI	WAVELENGTH QUALITY INDICATOR
WWAN	WIRELESS WIDE AREA NETWORK

RESUMEN

El objetivo fue estudiar y analizar de forma comparativa la tecnología 802.15.7 para sistemas de comunicaciones inalámbricas con respecto a la tecnología 802.11n. Se determinó la tecnología con mejores prestaciones para transmitir eficaz y eficientemente la información. Se realizó la comparación utilizando los siguientes indicadores: parámetros de transmisión, propagación, atenuación, dispersión y modulación, se proporcionan valoraciones en los índices de los indicadores priorizando sus ventajas para luego establecer la calificación de cada índice y finalmente presentar el resultado, con todo este procedimiento que se realiza en cada parámetro suministran como resultado que la tecnología Wifi es superior a la tecnología Lifi con el 13,33%, en el parámetro de propagación y dispersión adquiere mayor puntuación con el 50%, por lo cual Wifi es superior a Lifi y es la tecnología que brinda mejores características. Para analizar el costo/beneficio se detalla en una tabla el costo de seis productos de ambas tecnologías con el fin de establecer la tecnología que presente precios económicos, los productos Lifi tienen un costo de \$445 y \$556, mientras que Wifi tiene costos desde \$29.99 hasta \$44.99, con estos costos se determinó que Wifi resulta más económico. Se concluye que la tecnología inalámbrica más eficiente para ser implementada es Wifi, debido a la eficiencia que brinda. Se recomienda la utilización de la tecnología Wifi porque posee mejores parámetros de calidad.

PALABRAS CLAVES: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TECNOLOGÍA DE COMUNICACIONES>, <REDES INALÁMBRICAS>, <LUZ VISIBLE>, <LIGHT-FIDELITY (LIFI)>, <WIRELESS-FIDELITY (WIFI)>, <LIGHT EMITTING DIODE (LED)>, < WIRELESS LOCAL AREA NETWORK (WLAN) >

SUMMARY

This work aims to compare IEEE 802.15.7 and IEEE 802.11n for communication systems. The best technology to transmit data effectively and efficiently was determined. The parameters used to make the comparison were as follows: transmission, propagation, attenuation, scattering and modulation. The indicator values were determined pinpointing their benefits. Then each level rate was established. Lastly, the results were presented, Wifi was 13,33 % better than Lifi after applying all the procedure mentioned above. In the propagation and scattering parameters, Wifi was better with 50%, that is why, it is better than Lifi and its service has better features. For the cost/benefit analysis, a chart including the cost of six products was shown to establish the lowest-cost Wireless communication. Lifi prices range from \$445 and \$556, whereas Wifi prices range from \$29.99 and \$44.99. Therefore, Wifi is more affordable. It is included that Wifi is the most efficient Wireless communication to be implemented due to its efficiency. It is recommended to use Wifi, since its parameters are the best.

KEYWORDS: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCE>, <COMMUNICATION TECHNOLOGY>, <WIRELESS NETWORK>, <VISIBLE LIGHT>, <LIGHT- FIDELITY (LIFI)>, <WIRELESS- FIDELITY (WIFI)>, <LIGHT EMITTING DIODE (LED)>, < WIRELESS LOCAL AREA NETWORK (WLAN) >

INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de comunicaciones inalámbricas hoy en día desempeñan un rol muy importante en la vida de las personas, es por eso que surge el interés de realizar un estudio comparativo entre 802.11n (Wifi) y 802.15.7 (Lifi), con el fin de determinar la tecnología que brinde mejor rendimiento y factibilidad al transmitir información.

Los parámetros a tomar en cuenta para realizar este estudio son transmisión, propagación, atenuación, dispersión y modulación. Todos estos parámetros son importantes para determinar el mejor rendimiento en comunicaciones inalámbricas.

En el **Capítulo I**, se detallarán las definiciones conceptuales Wifi (802.11n) y Lifi (802.15.7), características, funcionamiento, arquitecturas, modulaciones, parámetros de transmisión, propagación, atenuación, dispersión, diseños de red, ventajas, desventajas, aplicaciones.

En el **Capítulo II**, se especifica el marco metodológico utilizado para realizar el análisis comparativo, en el mismo se utiliza marco comparativo en el que se proporciona una valoración y calificación a los índices de cada parámetro para luego emitir la interpretación de resultados.

En el **Capítulo III**, se enfoca al marco de resultados. En este capítulo se realiza un análisis FODA de las tecnologías 802.11n y 802.15.7, además se expone los resultados de los parámetros analizados en el capítulo anterior. También se despliega el costo/beneficio que presenta cada tecnología

Finalmente, se emiten las **conclusiones** y **recomendaciones** a las que se llegó luego de realizar el presente trabajo de titulación. Adicionalmente a los capítulos, se encuentran los anexos. El trabajo realizado servirá para la toma de decisiones al elegir entre las dos tecnologías mencionadas y decidir que tecnología brinda mejor rendimiento y transmite eficientemente la información.

ANTECEDENTES

Desde los primeros pasos de transmisión inalámbrica en nuestras vidas, ha sido uno de los principales factores de crecimiento en la transmisión de datos sin la necesidad de tener extensas distancias de cables entre equipos de comunicación. La progresiva aparición de equipos con mayor capacidad de transmisión distancia/velocidad ha permitido el incremento de proveedores de internet. Sin embargo desde la aparición del internet poco se ha avanzado en relación a la calidad de servicio ofrecida al usuario. Las redes inalámbricas Wifi de área local se han convertido en una solución muy común para proporcionar acceso a internet siendo muy aceptada.

Sin embargo dicha realidad proporciona un servicio de cierta calidad únicamente en condiciones de baja carga de tráfico y/o ausencia de requisitos en la entrega del tráfico, ya que al momento de tener conectado más de 2 dispositivos el ancho de banda de la red se divide para todos los equipos conectados conllevando a un consumo de tiempo prolongado de acuerdo a las solicitudes generados por cada usuario. Es innegable la gran aceptación de los usuarios las redes inalámbricas Wifi, actualmente la interfaces inalámbricas que emplean dicha tecnología no solo viene incorporado en PC portátil, sino que también aparecen en los dispositivos de telefonía móvil e incluso de entretenimiento.

El nuevo diseño de red Lifi también es una comunicación inalámbrica que pretende remplazar a Wifi, ofreciendo mayor velocidad de transmisión, mayor seguridad, mayor ancho de banda, no solo sirve para tener internet inalámbrico sino que también se puede reproducir música y videos. La tecnología Lifi es una manera de transmitir datos tanto para envío como para recepción, esta utiliza el espectro de luz visible emitida por bombillas de diodos led.

Aunque se llevan ya varios años investigando (desde 2008) esta clase de tecnologías de conexión bautizadas como VLC (Visible Light Communication), ya fue estudiada por Alexander Graham Bell en 1880. Lifi fue presentado en una conferencia de la organización TED en julio de 2011 por el profesor de la universidad de Edimburgo Harald Haas. La empresa "pureLiFi" es líder en soluciones Lifi, fundada con la ayuda del mismo Harald Haas, cuenta con un equipo de ingenieros, internacionalmente reconocidos en las investigaciones en VLC, con cerca de 50 años de experiencia. En este trabajo se va a realizar un Estudio y Análisis Comparativo de la Tecnología 802.15.7 para Sistemas de Comunicaciones Inalámbricas con respecto a la Tecnología 802.11n con el fin de establecer la tecnología con las mejores prestaciones de servicios.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Con la realización de este trabajo de titulación el propósito es estudiar, analizar y comparar mediante parámetros de transmisión, modulación, propagación, atenuación y dispersión de la señal de cada uno de los estándares IEEE 802.11n (Wifi) y 802.15.7 (Lifi) para poder determinar cuál brinda mejores prestaciones, eficiencia, seguridad y factibilidad en las comunicaciones inalámbricas.

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué tipo de resultados se pueden obtener mediante el estudio técnico, analítico y comparativo entre las dos tecnologías Lifi y Wifi?

¿Cómo es la transmisión de cada una de las tecnologías?

¿Cuál es el costo-beneficio de implementar las tecnologías?

¿Qué tecnología brinda las mejores prestaciones para transmitir inalámbricamente?

JUSTIFICACIÓN

Justificación teórica

Una comunicación inalámbrica evita medios de transmisión guiados lo cual ha obligado a investigar nuevos tipos de comunicaciones inalámbricas, una de ellas es Lifi la misma que propone utilizar el espectro de luz visible para transportar datos. Esta técnica tiene como ventaja la resistencia a la interferencia de ruido electromagnético externo y seguridad (Haas, 2011).

En el año 2015, en Perú, Cuenca se realizó un estudio general de Lifi, especificando su historia, generalidades, estructura y diseño, toda esta información expuesta servirá para realizar el análisis entre la tecnología antes mencionada y Wifi tratando de que toda empresa y usuarios finales opten por una tecnología que pueda transmitir audio, video, datos e internet a mayor velocidad.

En base a los estudios citados anteriormente e información adicional se realizará un análisis comparativo entre los aspectos teóricos técnicos de Wifi versus aspectos teóricos técnicos de Lifi, particularmente las características, ventajas, inconvenientes, seguridad, cobertura y la velocidad de transmisión, para así llegar a conocer cuál de estas tecnologías ayudan a mejorar la transmisión de audio, datos, video, internet. Este análisis será mostrado en tablas comparativas.

Justificación Práctica

Wifi es una comunicación inalámbrica que usa el espectro electromagnético mediante ondas de radio que transmite a velocidades de 300Mbps, viendo la necesidad de aumentar la velocidad de transmisión de datos aparece Lifi es por eso que se pretende hacer el análisis comparativo ya que mediante el uso del espectro de la luz permite transmitir a velocidades de 1 Gbps, datos, video, audio, internet. Esta nueva tecnología se convierte en un factor determinante para el desarrollo del tema de seguridad, cuando los dispositivos que se encuentren bajo la luz directa del bombillo incandescente tipo led establecerán la comunicación. Por lo tanto el acceso es mucho más fiable y libre de accesos malintencionados.

OBJETIVOS

Objetivo General

Estudiar, analizar y comparar la tecnología 802.15.7 para sistemas de comunicaciones inalámbricas con respecto a la tecnología 802.11n.

Objetivos Específicos

- ❖ Analizar los estándares IEEE 802.11n (Wifi) y IEEE 802.15.7 (Lifi).
- ❖ Realizar un estudio de los parámetros de transmisión, propagación, atenuación y dispersión de la señal de los estándares 802.15.7 y 802.11n para determinar la tecnología con mejores prestaciones y brinde mejor rendimiento.
- ❖ Analizar los diferentes tipos de modulación de los estándares IEEE 802.11n (Wifi) y IEEE 802.15.7 (Lifi) para evaluar entre las tecnologías su mayor velocidad de transmisión, mayor seguridad, mayor ancho de banda.
- ❖ Realizar el análisis comparativo de los análisis teóricos entre los estándares IEEE 802.11n (Wifi) y IEEE 802.15.7 (Lifi) y sus respectivas variantes con la finalidad de determinar en qué puntos uno es superior a otro.
- ❖ Determinar el costo-beneficio y la factibilidad que requiere la implementación de la tecnología Lifi con respecto a Wifi.

MÉTODOS Y TÉCNICAS

Métodos

Se aplicará el **método descriptivo** porque consiste en realizar una exposición narrativa, numérica y/o gráfica, lo más detallada y exhaustiva posible de la realidad que se investiga. El objetivo de este método es disponer de un primer conocimiento de la realidad tal y como se desprende de la observación directa que realiza el analista y/o del conocimiento que ha adquirido a través de la lectura o estudio de las informaciones aportadas por otros autores. Por tanto se trata de un método cuya finalidad es obtener y presentar, con el máximo rigor o exactitud posible, la información sobre una realidad de acuerdo con ciertos criterios previamente establecidos por cada ciencia (tiempo, características formales, características funcionales, efectos producidos, etc.). Aquí se describirá detalladamente las características, inconvenientes, funcionamiento, modulación, y aplicaciones de la tecnología.

Además se empleará el **método analítico** porque parte del conocimiento general de una realidad para realizar la distinción, conocimiento y clasificación de los distintos elementos esenciales que forman parte de ella y de las relaciones que mantienen entre sí. El empleo del método analítico resulta imprescindible para poder aplicar, con posterioridad, el método comparativo. Este método es importante porque se analizará la característica fundamental que tiene cada tecnología inalámbrica, para así poder realizar una comparación.

También se utilizará el **método comparativo**, es el método mediante el cuál se realiza una contrastación entre los principales elementos (constantes, variables y relaciones) de la realidad que se investiga con los de otras realidades similares ya conocidas. El método comparativo es más importante ya que se determinará la mejor tecnología que tiene características relevantes y satisfaga las expectativas de los usuarios de comunicaciones inalámbricas.

Técnicas

La técnica a emplear para el trabajo de titulación es de investigación documental, ya que se obtendrá información de libros, revistas, páginas web, artículos científicos, se seguirán los siguientes pasos:

- 1- Determinación de las variables de análisis de datos
- 2- Análisis de datos
- 3- Comparación de información
- 4- Resultados

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Comunicación Inalámbrica

1.1.1. Origen

El origen suscita cuando (Graham Bell y Summer Tainter, 1880) inventaron el fotófono, este permitía la transmisión del sonido por medio de una emisión de luz, como se puede ver en la Figura 1-1. El físico alemán (Rudolf Hertz, 1888) realizó la primera transmisión inalámbrica con ondas electromagnéticas mediante un oscilador que usó como emisor y un resonador como receptor. (Guillermo Marconi, 1899) consiguió establecer comunicaciones inalámbricas a través del canal de la Mancha, en 1907, se transmitían los mensajes a través del Atlántico. En 1971 un grupo de investigadores crearon la primera red inalámbrica llamada ALOHA mediante una red de comunicación por radio bajo la Norma Abramson en la Universidad de Hawai.

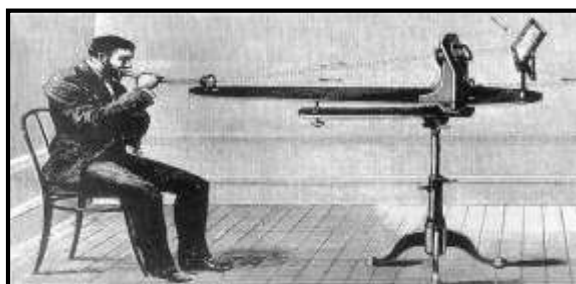


Figura 1-1. Fotófono

Fuente: <http://proyectoidis.org/fotofono/>

1.1.2. Concepto

La comunicación inalámbrica utiliza la modulación de ondas electromagnéticas de baja potencia y una banda específica de uso libre o privada para transmitir entre dispositivos, con la necesidad de compartir información entre ellos sin necesidad de una red cableada (Consinfín, 2012, <http://consinfín.com/que-es-la-comunicacion-inalambrica-wireless/>).

1.1.3. Tipos de red inalámbrica

Según su cobertura, las redes inalámbricas se pueden clasificar en diferentes tipos como se muestra en la Figura 2-1 (Blog Tecnología Inalámbrica, 2012, http://itizta2joatecnologiasinalambricas.blogspot.com/2012_11_01_archive.html):

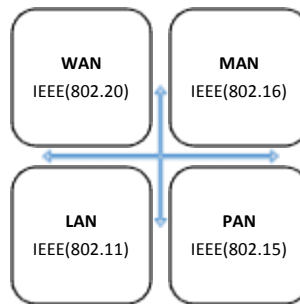


Figura 2-1. Tipos de red inalámbrica

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

1.1.3.1. WPAN: Wireless Personal Area Network

Son redes de cobertura personal, como HomeRF (estándar para conectar teléfonos móviles de casa y los ordenadores mediante un aparato central); Bluetooth (IEEE 802.15.1); ZigBee (IEEE 802.15.4, utilizado en la domótica); RFID (sistema remoto de almacenamiento y recuperación de datos, transmite la identidad de un objeto mediante ondas de radio y Lifi (802.15.7) (Blog Tecnología Inalámbrica, 2012, http://itizta2joatecnologiasinalambricas.blogspot.com/2012_11_01_archive.html). El alcance de estas redes es de 10 metros máximo.

1.1.3.2. WMAN: Wireless Metropolitan Area Network

Redes de área metropolitana, tales como WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access, es un estándar de comunicación inalámbrica basado en la norma IEEE 802.16 y LMDS (Local Multipoint Distribution Service) (Blog Tecnología Inalámbrica, 2012, http://itizta2joatecnologiasinalambricas.blogspot.com/2012_11_01_archive.html).

1.1.3.3. WWAN: Wireless Wide Area Network

Una WWAN usa tecnologías de red celular de comunicaciones móviles como WiMAX, UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), GPRS, EDGE, CDMA2000, GSM, CDPD, Mobitex, HSPA y 3G para transferir los datos. También incluye LMDS y Wifi autónoma para conectar a internet (Blog Tecnología Inalámbrica, 2012, http://itizta2joatecnologiasinalambricas.blogspot.com/2012_11_01_archive.html).

1.2. Lifi (802.15.7)

1.2.1. Historia de Lifi.

La historia de la luz inicia cuando (Alexander Graham Bell, 1880) realizó por primera vez, la transmisión de un mensaje de voz utilizando las ondas de la luz solar como medio de transporte. Las investigaciones continuaron con respecto a las ondas electromagnéticas, que son utilizadas por todos los medios inalámbricos en el mundo, producen una gran congestión y saturación del rango de frecuencia utilizado, pero también causan alta polución electromagnética que afecta a seres vivos y equipos (América Lifi, 2014, <http://www.americalfi.com/wp/>).

Por este motivo, científicos de la Universidad de Versalles en Francia, pionera en el desarrollo de esta tecnología desde hace más de 5 años, desarrollaron de forma comercial el uso del Lifi, formando la primera y única compañía en el mundo (OLEDCOMM), que ofrece soluciones reales a los requerimientos de la industria y personas (América Lifi, 2014, <http://www.americalfi.com/wp/>).

En la actualidad ya hay empresas distribuyendo productos Lifi como son Oledcomm, PureLifi, América Lifi y Sisoft de México entre las principales.

1.2.2. ¿Qué es Lifi?

Li-Fi (Light-Fidelity) es un sistema óptico de comunicaciones inalámbricas, que proporciona internet móvil, transmisión de audio, video para cualquier dispositivo que esté al alcance de la luz, así como ilumina un espacio de trabajo, un auditorio u oficina (Hardmaniacos.com, 2016,

<http://www.hardmaniacos.com/lifi-la-luz-metodo-transmision-datos/>). Lifi fue inventado por el Profesor Harald Haas quién lo llama como "los datos a través de la iluminación", esta idea salió de la transmisión de datos por fibra óptica, Haas utilizó la luz como medio transmisor de datos utilizando un LED (Light Emitting Diode) que va variando su intensidad y de esta manera generando 1s y 0s lógicos.

Esta tecnología ya no usa el espectro radioeléctrico, ni el de luces infrarrojas o ultravioletas, sino que utiliza el espectro de luz visible, usa las frecuencias de (385-789) THz.

1.2.3. Funcionamiento de Lifi.

Para su funcionamiento se necesita un modulador en la parte transmisora que apagará y encenderá el foco de luz rápidamente (imperceptible para los humanos), creando así ceros y unos binarios, y un fotodiodo en la parte de recepción que almacenará los cambios de luz y los pasará otra vez al dominio eléctrico. Generalmente se utiliza el "uno" como foco encendido, y el "cero" como foco apagado. En la Figura 3-1 se observa su funcionamiento.



Figura 3-1. Funcionamiento de Lifi

Fuente: <http://www.hardmaniacos.com/lifi-la-luz-metodo-transmision-datos/>

1.2.4. Estándar IEEE 802.15.7

1.2.4.1. Introducción.

VLC (Comunicación por Luz Visible) son las comunicaciones ópticas que se investigan por más de 100 años, usa las longitudes de onda de (380-780) nm, es decir, usa el espectro visible, el mismo que se muestra en la Figura 4-1.

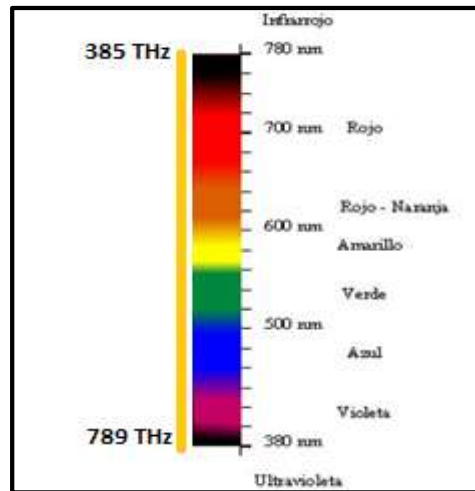


Figura 4-1. Espectro de luz visible

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

Este estándar define la capa física (PHY) y la capa MAC (Media Access Control) para comunicaciones ópticas inalámbricas de corto alcance usando luz visible en medios ópticos transparentes. Es capaz de entregar velocidades de datos para soportar servicios multimedia de audio y video, considera la movilidad del enlace visible, compatibilidad con infraestructuras de luz visible, alteraciones debido al ruido e interferencias de fuentes como la luz ambiente, además se adhiere a las normas de seguridad del ojo (IEEE Computer Society, 2011, p.1).

Transmite datos por la intensidad de modulación de fuentes ópticas tales como los diodos emisores de luz (LED) y los diodos láser (LDs) más rápido que la persistencia del ojo humano. VLC combina la iluminación y datos en aplicaciones tales como iluminación de un área, letreros, farolas, vehículos, señales de tráfico. Esta norma describe el uso de VLC para WPAN (IEEE Computer Society, 2011, p.5).

1.2.4.2. Características

El estándar presenta las siguientes características principales para las comunicaciones de luz visible (IEEE Computer Society, 2011, p.5):

- ❖ Operación en tres topologías de red: estrella, peer-to-peer y broadcast.
- ❖ Direcciones de 16 bits cortos o 64 bits extendidos
- ❖ Transmisiones programadas o realizadas mediante Acceso Randómico Aleatorio con prevención de colisiones.
- ❖ Transferencias de datos fiables mediante el uso de tramas de confirmación.

- ❖ Indicación de la calidad de la longitud de onda (WQI)
- ❖ Soporte para el control del oscurecimiento.
- ❖ Soporte para la visibilidad.
- ❖ Soporte para la función del color.
- ❖ Soporte para el color-estabilización.

1.2.4.3. Topologías de red

El estándar IEEE 80215.7 para Redes de Área Personal en Comunicaciones de Luz Visible (VPAN) posee tres topologías: peer- to-peer, star, y broadcast (IEEE Computer Society, 2011, p. 6) como se muestra en la Figura 5-1.

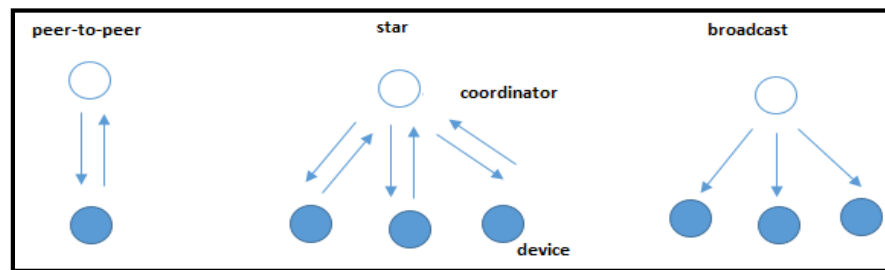


Figura 5-1. Topologías de red en 802.15.7

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

1.2.4.3.1. Topología punto a punto (peer-to-peer)

En esta topología uno de los dispositivos en una asociación se establece como coordinador, cada dispositivo es capaz de comunicarse con cualquier otro dispositivo dentro de su área de cobertura (IEEE Computer Society, 2011, p. 7).

1.2.4.3.2. Topología Estrella (star)

En esta topología se establece la comunicación entre los dispositivos y un controlador central llamado coordinador. Todas las redes operan independientemente de todas las demás redes actualmente en funcionamiento, debido a la elección de un identificador VPAN. Una vez elegido el identificador el coordinador permite que otros dispositivos se unan a su red (IEEE Computer Society, 2011, p. 7).

1.2.4.3.3. Topología de transmisión (broadcast)

El dispositivo en modo de emisión puede transmitir una señal a otros sin formar una red. La comunicación es unidireccional y no requiere la dirección de destino. Cada dispositivo o coordinador tiene una dirección única de 64 bits, cuando se asocia con un coordinador se permite asignar una dirección abreviada de 16 bits. Las direcciones que se utiliza para las comunicaciones dentro de las VPAN son gestionadas por el coordinador (IEEE Computer Society, 2011, p.7).

1.2.4.4. Arquitectura

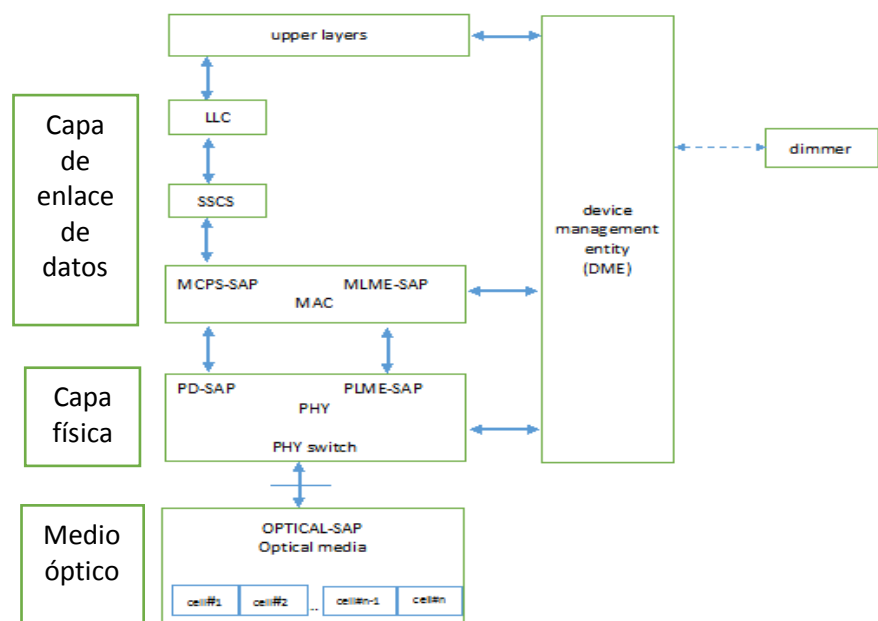


Figura 6-1. Arquitectura 802.15.7

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

La arquitectura IEEE 802.15.7 se define en términos de capas y subcapas, cada capa es responsable de una parte del estándar y ofrece servicios a las capas superiores, esta arquitectura se observa en la Figura 6-1. La interfaz entre las capas sirve para definir los enlaces lógicos que se describen en esta norma. (IEEE Computer Society, 2011, p. 8). Un dispositivo VPAN se compone de una capa física (PHY) que contiene el transceptor de luz, junto con su mecanismo de control de bajo nivel y un control de acceso al medio (MAC), esta es una subcapa que proporciona acceso al canal físico para todas las transferencias.

Las capas superiores consisten en una capa de red, que proporciona la configuración de red, manipulación y enrutamiento de mensajes, y una capa de aplicación destinada a las funciones del dispositivo. La capa de control de enlace lógico (LLC) puede acceder a la subcapa MAC a través

de la subcapa de convergencia específica del servicio (SSCS). El DME (Entidad de Gestión de Dispositivos) se comunica con PLME y MLME para interfaz entre MAC y PHY mediante un regulador de intensidad. DME también puede controlar el interruptor de la capa física utilizando PLME para la selección de las fuentes ópticas y fotodetectores (IEEE Computer Society, 2011, p. 8).

La interfaz de conmutación de la capa física se conecta con el SAP óptico a los medios de comunicación óptica que pueden ser uno o múltiple fuentes ópticas y fotodetectores, estos son compatibles con PHY III, así como con la movilidad celular VLC. El PLME controla el conmutador físico con el fin de seleccionar una celda, la línea que va a la SAP óptica desde el conmutador es un vector. El número de líneas que comprenden el SAP óptico tiene la dimensión de $n \times m$, donde "n" es el número de células y "m" es el número de distintos flujos de datos de la capa física. El valor de "m" es tres para PHY III (IEEE Computer Society, 2011, p. 8).

1.2.4.5. Capa Física

La capa física es responsable de las siguientes tareas (IEEE Computer Society, 2011, p. 212):

- ❖ Activación y desactivación del transceptor VLC
- ❖ WQI (Wavelength Quality Indication) para las tramas recibidas
- ❖ Selección de canal
- ❖ Transmisión y recepción de datos
- ❖ Corrección de errores

1.2.4.5.1. Tipos de capa física

Se especifican tres tipos de capas (IEEE Computer Society, 2011, pp. 9):

PHY I.- Proporciona velocidades de datos entre 12- 267 kbit/s. Los códigos convolucionales y Reed Solomon se usan para la corrección de errores, y para la modulación se usa OOK y VPPM.

PHY II.- diseñado para el uso en interiores con velocidades de datos entre 1,25 - 96 Mbit/s. El código Reed Solomon utiliza para la corrección de errores, y OOK o VPPM para la modulación.

PHY III.- se usa para fuentes y detectores RGB. Proporciona velocidades de datos entre 12-96 Mbit/s. Reed Solomon se usa para corrección de errores, en la modulación se utiliza CSK con constelaciones de color 4, 8 o 16.

1.2.4.6. Subcapa MAC

La subcapa MAC se encarga de todos los accesos a la capa física y es responsable de lo siguiente (IEEE Computer Society, 2011, p. 10):

- ❖ Generación de balizas de red si el dispositivo es un coordinador.
- ❖ Sincronización de balizas de red
- ❖ Soporta la asociación y disociación VPAN
- ❖ Soporta la función de color
- ❖ Soporta la visibilidad
- ❖ Esquema de mitigación de parpadeo
- ❖ Soporta la indicación visual del estado de un dispositivo y calidad del canal
- ❖ Soporta la seguridad del dispositivo
- ❖ Proporciona un enlace fiable entre dos pares de entidades MAC
- ❖ Soporta la movilidad

1.2.4.7. Esquemas de Modulación de datos

1.2.4.7.1. OOK con codificación Manchester

On-off keying (OOK): en esta modulación los datos son transportados cuando se enciende y se apaga el LED. El '1' representa "encendido" y el '0' representa "apagado". El estándar 802.15.7 utiliza la codificación Manchester para garantizar el período de que los pulsos positivos sean igual que los negativos, lo que implica que se duplique el ancho de banda para transmitir (Visible Light Communications, 2011, <http://visiblelightcomm.com/an-ieee-standard-for-visible-light-communications/>). Ver la Figura 7-1.

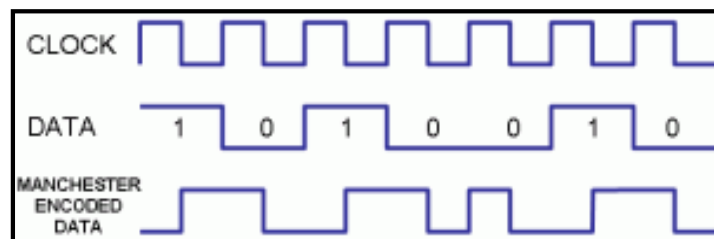


Figura 7-1. Modulación OOK

Fuente: <http://visiblelightcomm.com/an-ieee-standard-for-visible-light-communications/>

1.2.4.7.2. Pulso Variable Position Modulation (VPPM)

Modulación Variable de Posición de Pulso (VPPM): codifica los datos utilizando la posición del pulso en un período de tiempo establecido. El período que contiene el pulso debe ser lo suficientemente grande para permitir diferentes posiciones para ser identificados. VPPM es similar a PPM pero permite que el ancho de pulso pueda ser controlado por el apoyo de atenuación de luz como se observa a continuación en la Figura 8-1 (Visible Light Communications, 2011, <http://visiblelightcomm.com/an-ieee-standard-for-visible-light-communications/>).

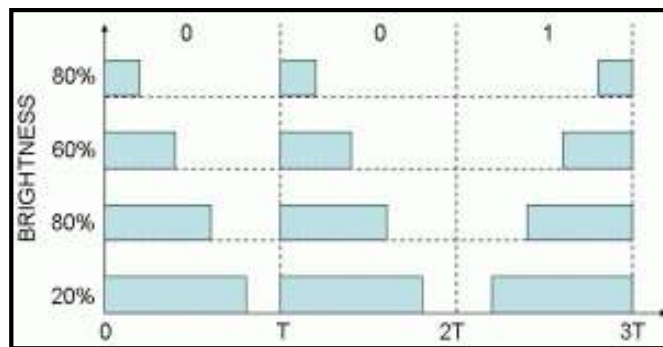


Figura 8-1. Modulación VPPM

Fuente: <http://visiblelightcomm.com/an-ieee-standard-for-visible-light-communications/>

El mapeo de datos para VPPM se detalla en la Tabla 1-1. Los valores, ‘0’ lógico tiene una transición de ‘alto’ a ‘bajo’, y ‘1’ lógico tiene una transición de ‘bajo a ‘alto’. Los niveles ‘Bajo’ y ‘Alto’ aplicados a una fuente de luz en la capa física, da lugar a una baja y alta intensidad respectivamente. La variable ‘d’ es el ciclo de trabajo VPPM, este varía desde 0.1 hasta 0.9

Tabla 1-1: Representación de valores lógicos en la modulación VPPM

Logical value	Physical value	
	D is the VPPM duty cycle ($0,1 \leq d \leq 0,9$)	
0	High	$0 \leq t \leq dT$
	Low	$dT \leq t \leq T$
1	Low	$0 \leq t < (1-d)T$
	High	$(1-d) T \leq t \leq T$

Fuente: IEEE Computer Society (2011)

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

1.2.4.7.3. Modulación por desplazamiento de color (CSK)

Se utiliza para sistemas de iluminación tipo LED RGB. Mediante la combinación de los colores de la luz, los datos de salida pueden ser transportadas por el mismo color y así la intensidad de la salida puede ser constante. El diagrama de cromaticidad xy muestra el espacio de color y longitudes de onda (nm). Mezcla las fuentes primarias rojo, verde y azul y produce los diferentes colores que se codifican como bits de información. (Visible Light Communications, 2011, <http://visiblelightcomm.com/an-ieee-standard-for-visible-light-communications/>). Ver la Figura 9-1.

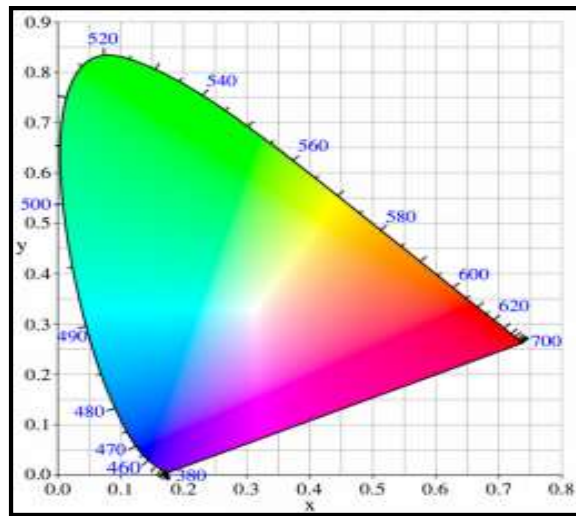


Figura 9-1. Modulación CSK

Fuente: <http://visiblelightcomm.com/an-ieee-standard-for-visible-light-communications/>

En la Tabla 2-1 se detalla las coordenadas del color en el plano xy de acuerdo a la banda, se describe un código, el centro y la posición de la banda en el plano xy.

Tabla 2-1: Coordenadas en el plano xy del color

Banda (nm)	Code	Center (nm)	(x,y)
380-478	000	429	(0.169, 0.007)
478-540	001	509	(0.011, 0.733)
540-588	010	564	(0.402, 0.597)
588-633	011	611	(0.669, 0.331)
633-679	100	656	(0.729, 0.271)
679-726	101	703	(0.734, 0.265)
726-780	110	753	(0.734, 0.265)

Fuente: IEEE Computer Society (2011)

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

En la Figura 10-1 se muestra la ubicación de las coordenadas xy de acuerdo a la tabla anterior con los respectivos valores.

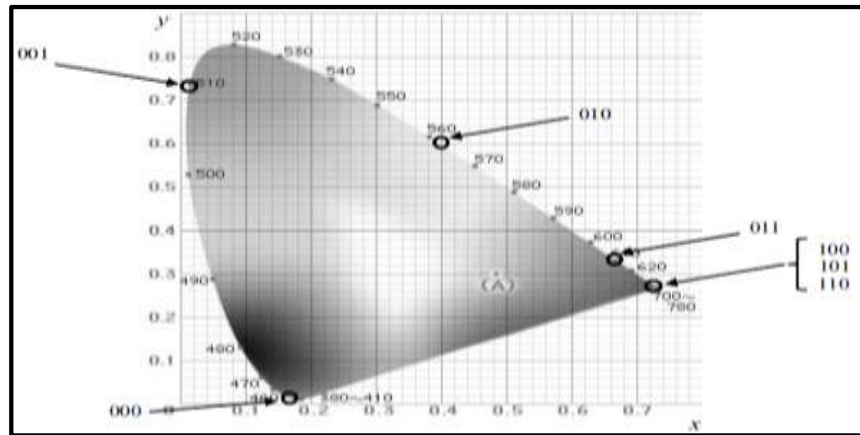


Figura 10-1. Ubicación de coordenadas xy en el plano CSK

Fuente: IEEE Computer Society (2011)

La modulación CSK presenta tres esquemas de constelaciones como 4-CSK, 8-CSK y 16-CSK. A continuación se detalla estas constelaciones (IEEE Computer Society, 2011, p. 254).

a) 4-CSK

Los puntos I, J, K en 4-CSK son el centro de la banda de los tres colores en el plano xy. S1, S2 y S3 son los vértices del triángulo IJK, S0 es el centro del triángulo, esta configuración se visualiza en la Figura 11-1 literal a. Se asigna 2 bits/símbolo en las bandas i, j, k como se observa en la Figura 11-1 literal b.

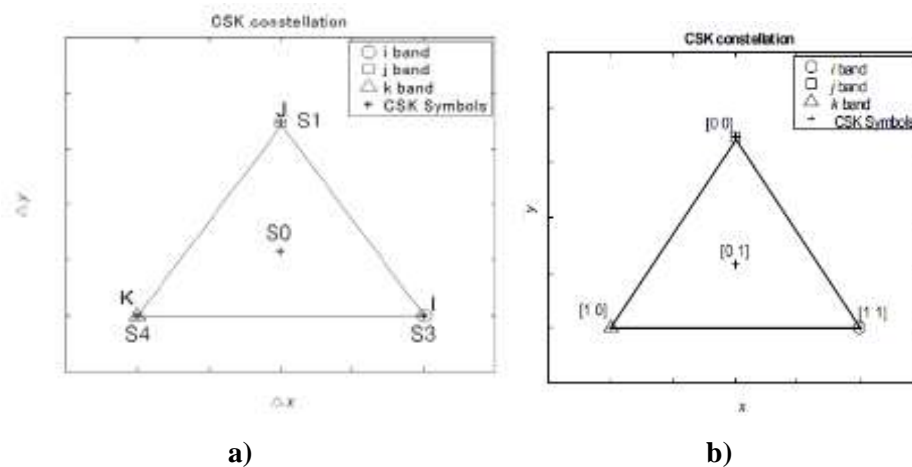


Figura 11-1. Modulación 4-CSK

Fuente: IEEE Computer Society (2011)

b) 8-CSK

Los puntos I, J, K en 8-CSK son el centro de la banda de los tres colores en el plano xy. S0 a S7 son los ocho puntos de 8-CSK. S0, S4 y S7 son los vértices del triángulo IJK. S1 y S2 dividen el lado JK y el lado JI en proporción 1:2. El punto B y C son puntos medios de la línea JI y línea JK. S6 es el punto medio de la línea KI. El punto A es el centro del triángulo B-S6-I. El punto D es el centro del triángulo C-K-S6. S3 es un punto que divide la línea AB en proporción 1:2. S5 es el punto que divide la línea DC en proporción 1:2, esta configuración se muestra en la Figura 12-1 literal a. Se asigna 3 bits/símbolo en las bandas i, j, k, se muestra en la Figura 12-1 literal b.

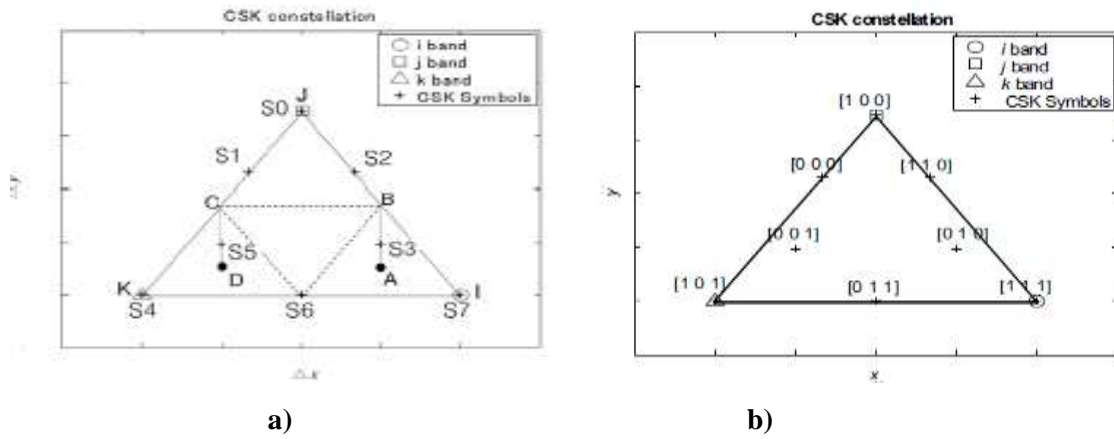


Figura 12-1. Modulación 8-CSK

Fuente: IEEE Computer Society (2011)

c) 16-CSK

Los puntos I, J, K en 16-CSK son el centro de la banda de los tres colores en el plano xy, S0 a S15 son los dieciséis puntos de 16-CSK. S5, S10 y S15 son los vértices del triángulo IJK. S2 y S8 son puntos que dividen el lado JK en un tercio. S3 y S12 son puntos que dividen el lado JI en un tercio. S11 y S14 son puntos que dividen el lado KI en un tercio. S0 es el centro del triángulo IJK. S1, S4, S6, S7, S9 y S13 son los centros de cada triángulo pequeño, esta configuración se representa en la Figura 13-1 literal a. Se asigna 4 bits/símbolo en las bandas i, j, k y se muestra en la Figura 13-1 literal b.

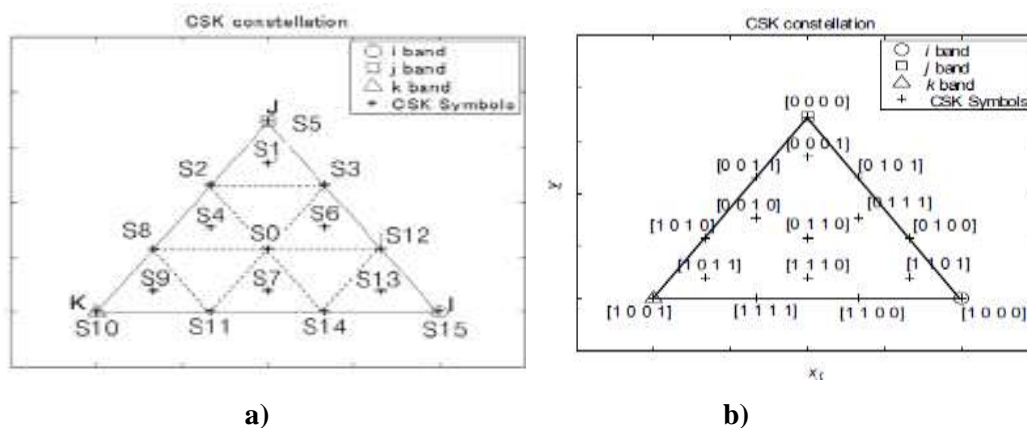


Figura 13-1. Modulación 16-CSK

Fuente: IEEE Computer Society (2011)

1.2.4.8. Modos de operación de las capas física (I, II, III)

1.2.4.8.1. Modos de operación de la capa física I

En la Tabla 3-1 se describe la modulación que utiliza esta capa, además el tipo de codificación, velocidad óptica del reloj, la protección de corrección de errores, y la velocidad de datos que presenta cada modulación de acuerdo a la corrección de errores (IEEE Computer Society, 2011, p. 213).

Tabla 3-1: Modos de operación de PHY I

Modulation	RLL code	Optical clock rate	FEC		Data rate
			Outer code (RS)	Inner code (CC)	
OOK	Manchester	200KHz	(15,7)	1/4	11.67 kb/s
			(15,11)	1/3	24.44 kb/s
			(15,11)	2/3	48.89 kb/s
			(15,11)	none	73.3 kb/s
			none	none	100 kb/s
			none	none	
VPPM	4B6B	400 KHz	(15,2)	none	35.56 kb/s
			(15,4)	none	71.11 kb/s

			(15,7)	none	124.4 kb/s
			none	none	266.6 kb/s

Fuente: IEEE Computer Society (2011)

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

A continuación se muestra en la Tabla 4-1 la codificación correspondiente al código Manchester que se utiliza en la modulación OOK, además en la Tabla 5-1 se muestra la codificación 4B6B que utiliza la modulación VPPM.

Tabla 4-1: Codificación Manchester

bit	Manchester symbol
0	01
1	10

Fuente: IEEE Computer Society (2011)

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

Tabla 5-1: Código 4B6B

4B (input)	6B (output)	Hex
0000	001110	0
0001	001101	1
0010	010011	2
0011	010110	3
0100	010101	4
0101	100011	5
0110	100110	6
0111	100101	7
1000	011001	8
1001	011010	9
1010	011100	A
1011	110001	B
1100	110010	C
1101	101001	D
1110	101010	E
1111	101100	F

Fuente: IEEE Computer Society (2011)

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

a) *Diagrama del modulador para PHY I*

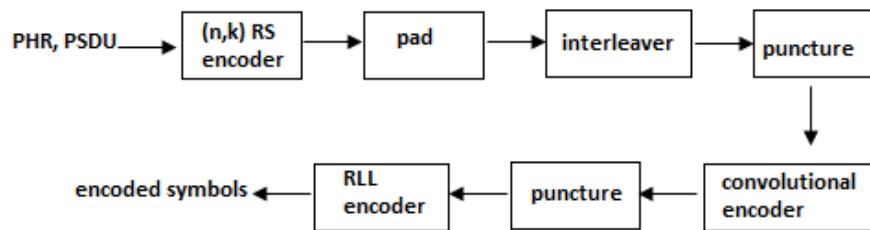


Figura 14-1. Diagrama del modulador PHY I

Realizado por: Deysi Tixi.2016

En la capa física I, se utiliza la codificación concatenada con la combinación de código convolucional externo y código interno RS (Reed-Solomon). La salida del codificador RS se rellena con ceros para formar un límite entrelazado. Los ceros rellenos son perforados y el resultado se envía al codificador convolucional interno. PHR y PSDU de la trama están sujetos a la protección de corrección de errores (FEC). PHR se codifica utilizando el parámetro correspondiente a la velocidad de datos más baja para la velocidad del reloj (IEEE Computer Society, 2011, p. 243). Este diagrama se muestra en la Figura 14-1.

1.2.4.8.2. *Modos de operación de la capa física II*

En la Tabla 6-1 se describe la modulación que se utiliza en esta capa, además el tipo de codificación, velocidad óptica del reloj, la protección de corrección de errores, y la velocidad de datos que presenta cada modulación de acuerdo a la corrección de errores (IEEE Computer Society, 2011, p. 254).

Tabla 6-1: Modos de operación de PHY II

Modulation	RLL code	Optical clock rate	FEC	Data rate
VPPM	4B6B	3.75 MHz	RS(64,32)	1.25 Mb/s
			RS(160,128)	2 Mb/s
		7.5 MHz	RS(64,32)	2.5 Mb/s
			RS(160,128)	4 Mb/s
			none	5 Mb/s
OOK	8B10B	15MHz	RS(64,32)	6 Mb/s
			RS(160,128)	9.6 Mb/s

		30 MHz	RS(64,32)	12 Mb/s
			RS(160,128)	19.2 Mb/s
		60 MHz	RS(64,32)	24Mb/s
			RS(160,128)	38.4 Mb/s
		120 MHz	RS(64,32)	48 Mb/s
			RS(160,128)	76.8 Mb/s
			none	96 Mb/s

Fuente: IEEE Computer Society (2011)

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

A continuación se muestran Tabla 7-1 la codificación correspondiente al código 8B10B que se mencionan en la tabla anterior, dicho código utiliza la modulación OOK.

Tabla 7-1: Código 8B10B

Visibility pattern	Percentage visibility
11111 11111	100%
11110 11111	90%
11110 11110	80%
11101 11100	70%
11001 11100	60%
10001 11100	50%
00001 11100	40%
00001 11000	30%
00001 10000	20%
00001 00000	10%
00000 00000	0%

Fuente: IEEE Computer Society (2011)

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

a) *Diagrama del modulador para PHY II*

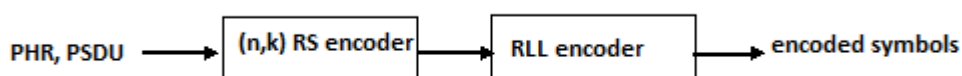


Figura 15-1. Diagrama del modulador PHY II

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

PHR y PSDU de la trama están sujetos a la protección de corrección de errores. PHR se codifica usando parámetros correspondientes a la velocidad de datos más baja para la velocidad de reloj, en el primer bloque se aplica la protección de corrección de errores, en el siguiente bloque se establece la modulación y finalmente salen los símbolos codificados, la Figura 15-1 visualiza el diagrama de esta capa (IEEE Computer Society, 2011, p. 250).

1.2.4.8.3. *Modos de operación de la capa física III*

En la Tabla 8-1 se muestra las diferentes modulaciones de CSK como 4-CSK, 8-CSK, 16-CSK que utiliza esta capa, además la velocidad óptica del reloj, la protección de corrección de errores y la velocidad de datos (IEEE Computer Society, 2011, p. 255).

Tabla 8-1: Modos de operación de PHY III

Modulation	Operational clock rate	FEC	Data rate
4-CSK	12 MHz	RS(64,32)	12 Mb/s
8-CSK		RS(64,32)	18 Mb/s
4-CSK	24 MHz	RS(64,32)	24 Mb/s
8-CSK		RS(64,32)	36 Mb/s
16-CSK		RS(64,32)	48 Mb/s
8-CSK		none	72 Mb/s
16-CSK		none	96 Mb/s

Fuente: IEEE Computer Society (2011)

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

a) *Diagrama del modulador para PHY III*

La Figura 16-1 muestra el diagrama de esta capa. La configuración del sistema CSK tiene el bloque de fuentes de luz de los tres colores (banda i, banda j, banda k). Luego del codificador y la codificación del canal, los datos se transforman en valores xy, de acuerdo a las reglas del mapeado en el plano xy del color por el bloque de codificación del color. PHR y PSDU de la trama están sujetos al bloque de protección de corrección de errores. PHR se codifica usando parámetros correspondientes a la velocidad más baja para la velocidad de reloj. La secuencia de estimación de canal se transmite luego de PHR (IEEE Computer Society, 2011, p. 252).

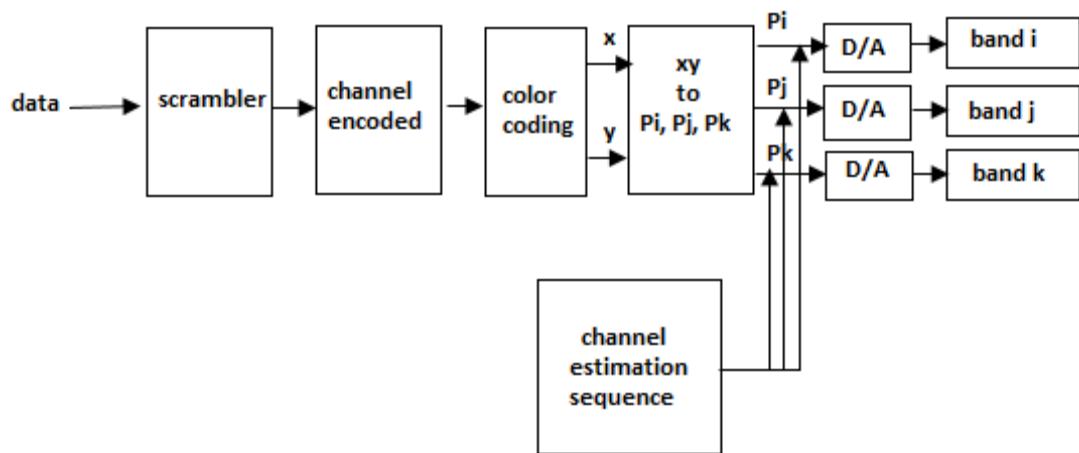


Figura 16-1. Diagrama del modulador PHY III

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

1.2.4.9. Sistema de codificación y modulación de 802.15.7

El estándar 802.15.7 soporta 30 MCS y tiene una codificación binaria, combina la capa física (I, II, II) y el data rate (IEEE Computer Society, 2011, p. 227), esto se visualiza en la Tabla 9-1.

Tabla 9-1: Sistema de codificación y modulación de 802.15.7

	MCS indication	PHY	Data rate	Unit
0	000000	I	11.67	Kb/s
1	000001		24.44	
2	000010		48.89	
3	000011		73.3	
4	000100		100	
5	000101		35.56	
6	000110		71.11	
7	000111		124.4	
8	001000		266.6	
16	010000	II	1.25	Mb/s
17	010001		2	
18	010010		2.5	
19	010011		4	
20	010100		5	
21	010101		6	
22	010110		9.6	
23	010111		12	
24	011000		19.2	
25	011001		24	
26	011010		38.4	
27	011011		48	

28	011100		76.8	
29	011101		96	
32	100000	III	12	Mb/s
33	100001		18	
34	100010		24	
35	100011		36	
36	100100		48	
37	100101		72	
38	100110		96	

Fuente: IEEE Computer Society (2011)

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

1.2.5. Parámetros de las ondas Lifi

1.2.5.1. Transmisión

Esta tecnología para transmitir utiliza las ondas de luz visible que viajan por el espacio libre. Utiliza las frecuencias de 385-789 THz, y su velocidad es de 1 Gbps. Para la emisión de la señal es necesario instalar un modulador junto a las bombillas LED, que se encargue de ir cambiando la señal para transmitir los datos. Por parte del dispositivo receptor se requiere un fotodiodo receptor. Además presenta un ancho de banda de 45 a 98 THz.

1.2.5.2. Propagación

Para la propagación de las ondas Lifi se toma en consideración la luz ya que es el medio de transmisión. Para analizar este parámetro se toma en cuenta el alcance, la velocidad de propagación y si perjudica a la salud de las personas. Además la onda al propagarse tiene propiedades de reflexión, difracción, refracción y absorción. La luz es una onda electromagnética que no requiere medio material para su propagación, consiste en una forma de energía emitida por cuerpos. La velocidad de propagación depende del medio, en el vacío es de 300 000 km/s, en cualquier otro medio su valor es menor. La propagación rectilínea de la luz forma sombras que proyectan los objetos al ser iluminados.

1.2.5.2.1. Reflexión

Existen dos tipos de reflexiones de la luz, la especular que se refleja en un espejo, y la difusa que se refleja en una superficie rugosa y los rayos salen rebotados en todas direcciones.

1.2.5.2.2. Difracción

Es la modulación o redistribución de energía dentro de un frente de onda, al pasar cerca de la orilla de un objeto opaco. Esto permite que las ondas luminosas se propagen en torno a esquinas.

1.2.5.2.3. Refracción

La refracción de la luz consiste en el cambio de dirección que experimenta el rayo luminoso al pasar de un medio a otro. Si la luz pasa de un medio a otro disminuyendo su velocidad, el rayo refractado se acerca a la normal, si es al contrario se aleja.

1.2.5.2.4. Absorción

En la luz la absorción se llama óptica. Esta radiación, al ser absorbida puede ser reenviada o transformarse en otro tipo de energía. Todo material absorbe en algún rango de frecuencias.

1.2.5.3. Atenuación

La transmisión es directa y siempre tiene que estar bajo la luz, caso contrario no habrá transmisión de información, no hay obstáculos que intervengan en la transmisión. Se toma a consideración la distancia y el grado de atenuación de los obstáculos.

1.2.5.4. Dispersión

Es el fenómeno de separación de las ondas de distinta frecuencia al atravesar un material, siendo estos más o menos dispersivos, y la dispersión afecta a las ondas de la luz que atraviesa el agua,

el vidrio o el aire. Se toma en consideración el índice de refracción que es 1 porque se transmite en el aire y la longitud de onda. La dispersión de la luz consiste en la separación de la luz en sus colores componentes por efecto de la refracción, se observa en la Figura 17-1.

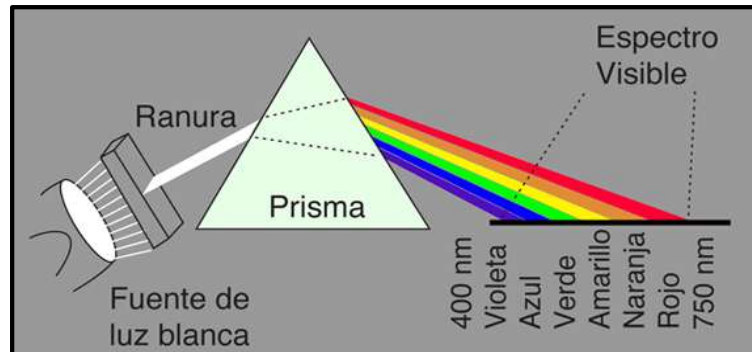


Figura 17-1. Dispersión de la luz

Fuente: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/vision/specol.html>

1.2.6. Ventajas y Desventajas de Lifi

1.2.6.1. Ventajas

- ❖ Lifi transmite datos a alta velocidad al mismo tiempo que ilumina un espacio.
- ❖ La información llega por el haz de luz de los LEDs, puede ser un haz disperso o fino.
- ❖ Se puede usar para transmitir datos de equipos a dispositivos multimedia. Por ejemplo si quiere enviar un vídeo del móvil a un televisor basta con apuntar durante unos segundos.
- ❖ **Seguridad.-** al estar bajo el mismo haz de luz para transmitir datos hace segura la comunicación entre emisor y receptor, evitando así el hackeo de la señal Lifi.
- ❖ **Sin interferencias.-** al no utilizar el espectro radioeléctrico evita interferencias con otros dispositivos de diferentes sistemas de comunicación.
- ❖ **Descongestión de la red.-** al usar ondas luminosas para la transmisión de datos ofrece un nuevo canal de distribución de información sin congestión.
- ❖ Genera nuevas oportunidades de negocio
- ❖ **Conexión a internet de alto rendimiento.-** una conexión Lifi a internet podría enfocarse en un nicho de mercado, la velocidad depende del ISP (Proveedor de Servicios de Internet).
- ❖ **Aplicaciones empresariales.-** Actualmente la empresa mexicana Sisoft ha puesto en práctica cuartos iluminados que son capaces de transmitir audio, video e internet a través de la luz a todos los dispositivos que se encuentran dentro del rango luminoso, Oledcomm una empresa de Francia también ofrece tecnología Lifi.

1.2.6.2. Desventajas

- ❖ **Sin luz no hay Lifi.-** no hay transmisión de datos cuando la luz está apagada.
- ❖ **No atraviesan paredes.-** las ondas luminosas no atraviesan las paredes, por lo que es imposible tener una red Lifi con un solo emisor. Por lo tanto, si se quiere acceder desde diversos espacios de la casa, serán necesarios tantos emisores como receptores.
- ❖ **Precio.-** existen kits que ofrece la empresa Oledcomm entre \$556 y \$445.
- ❖ **Compatibilidad de dispositivos.-** Solo funciona con aquellos dispositivos (tablets, móviles) que tengan un receptor para tal tecnología.

1.2.7. Lifi y el medio ambiente

El espectro de radiofrecuencia está muy utilizado por sistemas de comunicaciones, por ese motivo Lifi usa el espectro de luz visible. Una ventaja de Lifi es que puede utilizar las líneas eléctricas existentes sin necesitar nueva infraestructura.

Lifi es una tecnología que al usar ondas de luz visible no afecta al ambiente ya que no usa el espectro radioeléctrico el mismo que emite ondas electromagnéticas, es por eso que esta tecnología usa la luz visible para transmitir inalámbricamente información, y para conectarse a internet. Lifi no causa daños al ambiente porque presenta los siguientes beneficios (América Lifi, 2014, <http://www.americallifi.com/wp/>):

- ❖ **Ahorro de energía.-** consume del 50% al 90% menor que la energía tradicional.
- ❖ **Amigable con el medio ambiente.-** las luces LED ayudan a la reducción de su huella de carbono.
- ❖ **Reducción de la contaminación electromagnética.-** debido al uso de la luz visible evita la propagación de ondas radioeléctricas hacia las personas.
- ❖ **Bajo mantenimiento.-** suele durar entre 3500 y 50000 horas, con un uso de 6 horas por día, son más de 20 años de vida.

1.2.8. Diseño de red Lifi

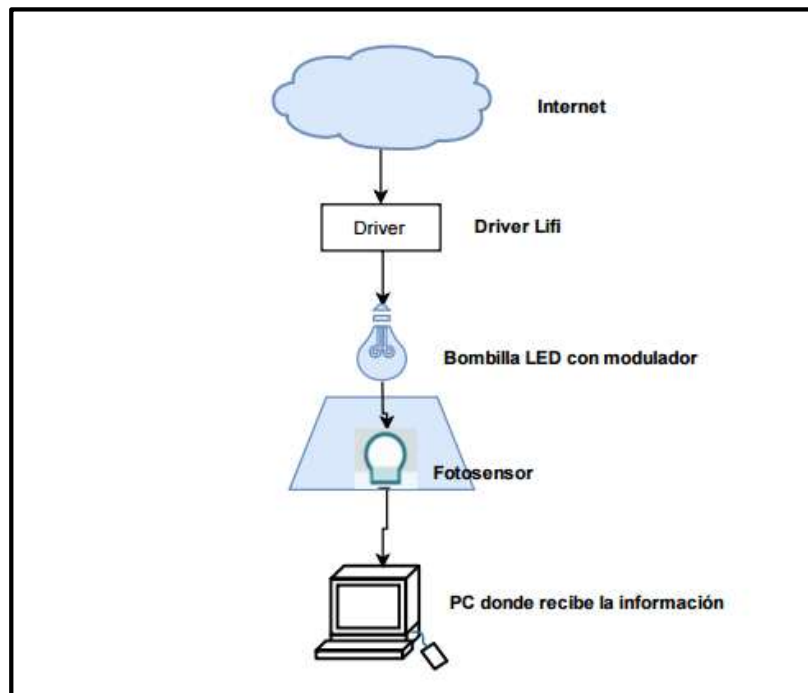


Figura 18-1. Diseño de red Lifi

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

En la Figura 18-1 se muestra una red Lifi en la que consta del Proveedor de Servicios de Internet (ISP), drivers Lifi y una bombilla Led con un chip modulador en la parte de la transmisión, de un fotosensor y un receptor de información que puede ser una computadora, dispositivos móviles, entre otros en la parte de recepción.

1.2.9. Aplicaciones Lifi

Esta tecnología se puede aplicar en lo siguiente (Monografías.com, <http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/tecnologia-li-fi-light-fidelity/tecnologia-li-fi-light-fidelity.shtml>):

- ❖ **Planteles Educativos.-** porque dará un acceso más rápido a estudiantes de todo el mundo y mejora la eficacia de la educación.
- ❖ **Aplicaciones Submarinas.-** puede dar lugar a investigaciones submarinas que hasta el día de hoy no han podido ser concretadas por la falta de recursos de comunicación.
- ❖ **Área Médica.-** en quirófanos está prohibido el Wifi porque interfiere con algunos instrumentos médicos, con Lifi al no interferir se podría realizar cirugías con ayuda de la robótica.

- ❖ **Aplicaciones Aéreas.-** al ser un medio de transmisión de datos seguro puede ser utilizado en aviones sin la preocupación de que hackers puedan acceder a sus servidores.
- ❖ **Mejoran las Plantas de Energía.-** en las grandes plantas de energía están prohibidas las zonas Wifi porque se utilizan diferentes químicos por lo que se debe tener cuidado, además se necesita una transmisión de datos increíblemente rápida.
- ❖ **Incrementan la Seguridad en las calles.-** se podría utilizar para transmitir datos de video cámaras colocadas en las calles hacia los servicios de emergencia y policía.
- ❖ **Gestión de Desastres.-** sería una excelente herramienta para los desastres naturales como huracanes, tormentas y etc. porque en varios casos se ha visto que las personas quedan atrapadas en zonas muertas donde no hay cobertura o no tienen manera de comunicarse.
- ❖ **Evitar Radio Frecuencias.-** existen algunas personas con hipersensibilidad a la radio frecuencias, Lifi sería una solución para este tipo de personas.
- ❖ **Juguetes.-** en la actualidad muchos juguetes utilizan luces LED, las cuales mediante Lifi pueden ser utilizadas para interacción entre juguetes para niños.

1.2.10. Dispositivos Lifi

A continuación se describen dispositivos Lifi que dispone la empresa América Lifi como Focos, tubos, ampolletas, placas LED Lifi, Luces LED Lifi empotrarles, además los drivers que utilizan estos dispositivos, y una llave Lifi que es un receptor Lifi compatible con tablets, celulares (América Lifi, 2014, <http://www.americalfifi.com/wp/>).

1.2.10.1. Focos LED Lifi



Figura 19-1. Focos LED Lifi

Fuente: América Lifi

Este dispositivo tiene las siguientes características:

Potencia: 7-30 W

Economía de energía: +80%.

1.2.10.2. Tubos LED Lifi



Figura 20-1. Tubos LED Lifi

Fuente: América Lifi

Este dispositivo presenta las siguientes características:

Potencia: 10-32W

Tamaño: 60 – 150 cm

Temperatura (color): 3000-6000K

1.2.10.3. Luces LED Lifi Empotrables



Figura 21-1. Luces LED Lifi Empotrables

Fuente: América Lifi

Este dispositivo entre sus características presenta:

Potencia: 3-30W

Dimensiones: de 93 – 250 mm

Angulo de iluminación: 25°/45°/60°

Economía energética: +80%

1.2.10.4. Ampolletas LED Lifi



Figura 22-1. Ampolletas LED Lifi

Fuente: América Lifi

Este dispositivo tiene las siguientes especificaciones:

Potencia: 1-5W

Temperatura (color): 3000-6000K

1.2.10.5. Placas LED Lifi

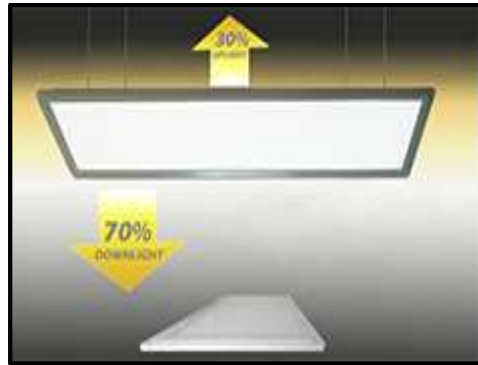


Figura 23-1. Placas LED Lifi

Fuente: América Lifi

Entre sus características se menciona:

Potencia: 48W

Dimensiones: 120×30, 60×60, 60×30 cm,

Diseño: Up/Down, diseño de conducción de la luz, distribuyendo un 70% hacia abajo y un 30% hacia arriba, creando una iluminación de luz indirecta y directa en el espacio que se instale.

1.2.10.6. Driver para conexión con Lifi

A continuación se describen los driver compatibles con los dispositivos anteriormente mencionados, ya que permiten la conexión a los transformadores de corriente continua, es intermediario entre la fuente de energía y los dispositivos Lifi.

1.2.10.6.1. Driver LBS



Figura 24-1. Driver LBS

Fuente: América Lifi

Especificaciones:

Potencia: 150W Max.

Voltaje entrada: 12-95V.

Corriente: 0-5 A

1.2.10.6.2. Driver LBS de alta tensión



Figura 25-1. Driver de alta tensión

Fuente: América Lifi

Especificaciones:

Potencia: 120W Max.

Voltaje entrada: 24-220V.

Corriente: 0-2 A

1.2.10.6.3. Driver LBS para ampollitas



Figura 26-1. Driver para ampollitas

Fuente: América Lifi

Características:

Potencia: 0-5W Máx.

Voltaje de entrada: 5-15 V.

Corriente: 0-1 A.

1.2.10.6.4. Driver LBS para tubos T8

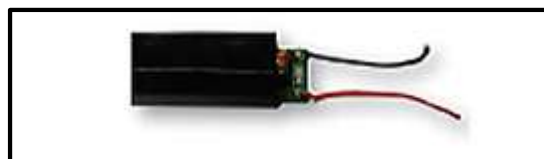


Figura 27-1. Driver para tubos T8

Fuente: América Lifi

Características:

Potencia: 100W Máx.

Voltaje de entrada: 12-95V

Corriente: 0-4 A.

1.2.10.7. Llave Lifi para GEOLifi

Esta llave Lifi es el primer receptor en el mundo de Lifi, está diseñado para smartphones y tablets EDGE o 3G, este presenta la característica de tener el conector tipo Jack de audífono para la conexión y la velocidad de recepción es menor a 100Kbits/s.



Figura 28-1. Llave Lifi para GeoLifi

Fuente: América Lifi

1.2.10.8. Conector USB portátil ONEWAYLifi

Este conector USB sirve para intercambiar información digital usando su sistema de iluminación a una velocidad de 1 Mbit/s, la capacidad es mayor a 100 Kbit/s.



Figura 29-1. Conector USB portátil ONEWAY

Fuente: América Lifi

1.3. Wifi (802.11n)

1.3.1. Historia de Wifi

El origen acontece cuando en 1971 un grupo de investigadores americanos crearon la primera red de área local inalámbrica llamada ALOHA, esta primera WLAN utilizaba ondas de radio para comunicar ordenadores ubicados en las distintas islas de Hawai. Las bases del Wifi datan del año 1985 cuando la comisión de comunicaciones de los Estados Unidos estableció las características que tenía que disponer una red inalámbrica asignando las frecuencias en las que trabaja esta tecnología conocidas como bandas ISM (Industrial, Scientific, Medical) destinadas al uso en redes inalámbricas en el campo industrial, científico y médico (Museo Informática, 2010, <http://histinf.blogs.upv.es/2010/12/02/historia-de-las-redes-inalambricas/>).

En 1991 las empresas norteamericanas AT&T y NCR desarrollaron la normativa del estándar 802.11, en esta época las velocidades de transmisión eran bajas de 5 Mb/s hasta que en 1993 el Ingeniero Jhon O'Sullivan desarrolló una tecnología para el sector astrofísico que fue implementada en las redes inalámbricas permitiendo alcanzar velocidades de transmisión eficientes (Museo Informática, 2010, <http://histinf.blogs.upv.es/2010/12/02/historia-de-las-redes-inalambricas/>).

En 1997 se lanza el estándar 802.11 por parte del IEEE (Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos). Posteriormente en el año 1999 varias empresas como la finlandesa Nokia en aquella época fabricante líder de teléfonos móviles y la americana Symbol Technologies especialista en el desarrollo de soluciones inalámbricas entre otras crearon la asociación sin ánimo de lucro WECA con la finalidad de fomentar el desarrollo de dispositivos electrónicos que sean compatibles con el estándar IEEE 802.11, posteriormente en el año 2003 se rebautizó con el nombre **Wi-Fi Alliance** (Museo Informática, 2010, <http://histinf.blogs.upv.es/2010/12/02/historia-de-las-redes-inalambricas/>).

Wi-Fi Alliance es una asociación conformada por empresas tecnológicas cuyo objetivo principal es fomentar, mejorar y garantizar la calidad de todos los dispositivos que utilizan esta tecnología como medio de comunicación inalámbrica, Wifi es una marca registrada por la Wi-Fi Alliance que es concedida a aquellos dispositivos que han sido certificados bajo el estándar IEEE 802.11 (Museo Informática, 2010, <http://histinf.blogs.upv.es/2010/12/02/historia-de-las-redes-inalambricas/>).

1.3.2. ¿Qué es Wifi?

Wi-Fi (Wireless-Fidelity), es un sistema de conexión de dispositivos inalámbricos, que permite compartir y transferir información utilizando ondas de radio, no utiliza cableado. Las redes están protegidas mediante contraseñas. Se utiliza en smartphones, tablets, PC y portátiles, cámaras digitales, con estos dispositivos se forma una red de comunicación y con acceso a Internet.

1.3.3. Funcionamiento Wifi

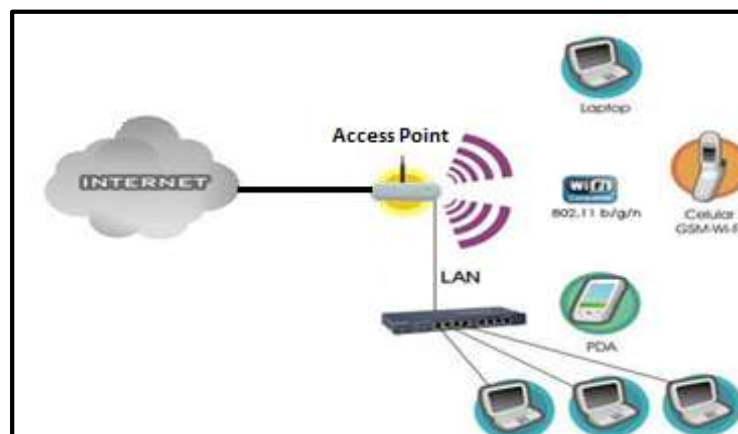


Figura 30-1. Funcionamiento Wifi

Fuente: <http://culturacion.com/que-es-una-conexion-wifi-ii/>

En la Figura 30-1 se puede ver el esquema de una red Wifi en la que se tiene un Access Point (AP) que está físicamente conectado a internet mediante un cable, este se ocupa de transformar la información digital binaria (unos y ceros) en ondas de radio que son transmitidas a lo largo de un área y que son captadas por decodificadores, estos vuelven a transformar las ondas de radio en información digital inicial la misma es interpretada por el microprocesador y el software alojado en los dispositivos móviles, portátiles, tablets, etc.

1.3.4. Norma 802.11 o Wifi

La norma 802.11 define las capas del modelo OSI para un enlace inalámbrico utilizando ondas electromagnéticas, así tenemos: la capa física (PHY) que ofrece 3 tipos de códigos de información; la capa de enlace de datos constituida de dos subcapas: El control de enlace lógico (Logical Link Control, o LLC) y El control de acceso al medio (Media Access Control, o MAC). El estándar 802.11 define dos modos operativos:

Modo Infraestructura.- la configuración típica requiere de un punto de acceso conectado a un segmento cableado de red, bien sea Ethernet, token ring, coaxial, cable óptico. A veces la conexión acaba en un módem router para conexión con un proveedor de servicios de internet.

Modo Ad Hoc.- estas redes no requieren un punto de acceso. En este modo de funcionamiento los dispositivos interactúan unos con otros, permitiéndose una comunicación directa entre dispositivos. En algunas ocasiones se las denomina redes “peer to peer” inalámbricas.

Hay 5 categorías de antenas Wifi de 2,4 GHz: dipolo, barra exterior, panel, parabólica y guía de onda ranurada.

1.3.5. Estándares certificados por Wifi (802.11)

El estándar actual que utilizan las diferentes redes Wifi es el IEEE 802.11, se subdivide en:

- ❖ IEEE 802.11b
- ❖ IEEE 802.11a
- ❖ IEEE 802.11g
- ❖ IEEE 802.11n

1.3.5.1. IEEE - 802.11b

Este estándar se aprueba por la IEEE en septiembre de 1999. Emplea la modulación DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), consigue una velocidad de 11 Mbps al operar en la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical) 2,4 GHz que no necesita licencia. La potencia máxima es de 100 mW y soporta hasta 32 usuarios por AP (Mohammed, 2012, p. 32).

Carece de QoS (Calidad de servicio), presenta interferencias al trabajar en la banda 2,4 GHz, porque varios equipos electrónicos como teléfonos usan la misma banda. Utiliza el mismo método de acceso CSMA/CA definido en el estándar original (Mohammed, 2012, p. 32).

Se usa en configuraciones punto y multipunto, como los AP se comunican con una antena omnidireccional con uno o más clientes que están en un área de cobertura alrededor del AP. El rango típico en interiores es de 32 metros a 11 Mbit/s y 90 metros a 1 Mbit/s (Galeon.com, <http://ieeestandards.galeon.com/aficiones1573579.html>).

1.3.5.2. IEEE - 802.11a

Se estandariza por la IEEE en julio de 1999, alcanza una velocidad de 54Mbps en la banda de 5 GHz denominada UNII (Infraestructura de Información Nacional sin Licencia), usa modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) porque ayuda a minimizar las interferencias y aumenta el número de canales sin solapamiento. Limita un alcance de 50m por mayor índice de absorción implicando instalar más puntos de acceso (Mohammed, 2012, p. 31).

Utiliza los mismos protocolos que el estándar original. 802.11a tiene 12 canales no solapados, 8 para red inalámbrica y 4 para conexiones punto a punto. No puede interoperar con equipos del estándar 802.11b, excepto si se dispone de equipos que implementen ambos estándares. La utilización de la banda de 5Ghz tiene sus desventajas, dado que restringe el uso de los equipos 802.11a a únicamente puntos en línea de vista, por lo que hace necesario la instalación de un mayor número de puntos de acceso (Galeon.com, <http://ieeestandards.galeon.com/aficiones1573579.html>).

1.3.5.3. IEEE - 802.11g

Ratificado por la IEEE en el 2003. Es compatible con los productos 802.11b, usa la banda de 2,4 GHz y alcanza velocidades de hasta 54 Mbps porque soporta la modulación DSSS y OFDM, obteniendo las mismas características de propagación que el estándar 802.11b y mantiene la fiabilidad de transmisión con la reducción de la tasa de transmisión (Mohammed, 2012, p. 33).

Muchos de los productos de banda dual 802.11a/b se convirtieron de banda dual a modo triple soportando a (a, b y g) en un solo adaptador móvil o AP. A pesar de su mayor aceptación 802.11g sufre de la misma interferencia de 802.11b en el rango ya saturado de 2.4 GHz por dispositivos como hornos microondas, dispositivos bluetooth y teléfonos inalámbricos (Galeon.com, <http://ieeestandards.galeon.com/aficiones1573579.html>).

1.3.6. Estándar IEEE - 802.11n

IEEE 802.11n fue ratificado por la IEEE el 11 de septiembre del 2009. Agrega Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) y unión de interfaces de red (Channel Bonding), además de agregar tramas a la capa MAC (Wordpress.com, 2010, <https://thegeek10.wordpress.com/2010/08/09/%C2%BFque-es-el->

wifi-n-y-sus-diferencia-con-abg/>). También mejora significativamente en la velocidad de transmisión de 54 Mbps a un máximo de 300Mbps. Actualmente la capa física soporta una velocidad de 300Mbps, con el uso de dos flujos espaciales en un canal de 40 MHz. El estándar 802.11n hace uso simultáneo de las bandas, 2,4 GHz y 5,0 GHz y de todos los canales del Wifi a/b/g. Además cuenta con la tecnología MIMO, a continuación una breve explicación.

1.3.6.1. MIMO

Este estándar tiene la ventaja de implementar MIMO (Multiple Input Multiple Output), dicha tecnología usa enlaces de radio con múltiples antenas en el transmisor y receptor. En la actualidad, no está estandarizada, pero está considerada en el estándar 802.11n de la IEEE. Permite una cobertura mayor en zonas de difícil acceso eliminando en lo posible la pérdida de paquetes de datos vía inalámbrica, también nos proporciona mayor velocidad inalámbrica por usar varias antenas de forma simultánea. En la Figura 31-1 se muestra el diagrama que utiliza.

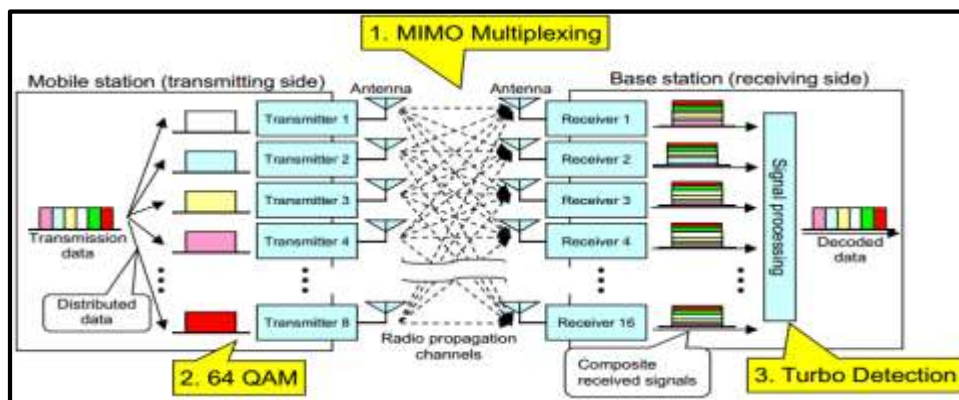


Figura 31-1. Diagrama de MIMO

Fuente: <http://www.extremetech.com/computing/149541-ntt-docomo-sets-10gbps-mobile-network-speed-record>

La tecnología MIMO se consigue por el desfase de señal, de forma que los rebotes de la señal Wifi (reflexiones) en lugar de ser destructivas, sean constructivas y proporcionen mayor velocidad ya que al haber menor pérdida de datos, hacen falta menos retransmisiones. Con este desfase, la señal inalámbrica llega por varias rutas (directa o rebotando contra paredes) y se utiliza para aumentar el rendimiento. Una característica de MIMO, es el conocido Three-Stream, que usa tres flujos espaciales para incrementar de manera notable la velocidad inalámbrica. También es muy importante el ancho de canal, 802.11n permite anchos de canal de 40Mhz usando dos canales separados (aunque contiguos) para conseguir mayor velocidad.

1.3.6.1.1. ¿Cómo funciona MIMO?

La propagación multitrayectoria es una característica de todos los ambientes de comunicación inalámbricos. MIMO toma ventaja de esta propagación para incrementar el caudal eficaz, cobertura y fiabilidad de las señales. MIMO pone señales multitrayectoria a trabajar concentrando más información, cada una de estas señales son moduladas y transmitidas por una serie de antenas al mismo tiempo y en el mismo canal de frecuencia. El empleo de múltiples formas de onda constituye un nuevo tipo de radio comunicación, y es el único medio para mejorar los tres parámetros básicos del desempeño del enlace (cobertura, velocidad y calidad de la señal) (Evelioux, 2005, <http://www.evelioux.com/mx/MIMO-la-proxima-generacion-de-la-tecnologia-Wi-Fi.html>).

MIMO tiene la habilidad de multiplicar la capacidad, es un sinónimo de velocidad. Una medida para medir la capacidad inalámbrica es conocida como la eficiencia espectral (EE). La EE es el número de unidades de información por unidad de tiempo sobre unidad de ancho de banda, denotada usualmente como bps/Hz (bits por segundo sobre Hertz). Si se transmiten múltiples señales, conteniendo diferentes ráfagas con información, sobre el mismo canal, se puede doblar o triplicar la eficiencia espectral. Más eficiencia espectral da como resultado más velocidad de información, más cobertura, más usuarios, una mejor calidad de la señal (Evelioux, 2005, <http://www.evelioux.com/mx/MIMO-la-proxima-generacion-de-la-tecnologia-Wi-Fi.html>).

1.3.6.1.2. Transmisor MIMO-OFDM

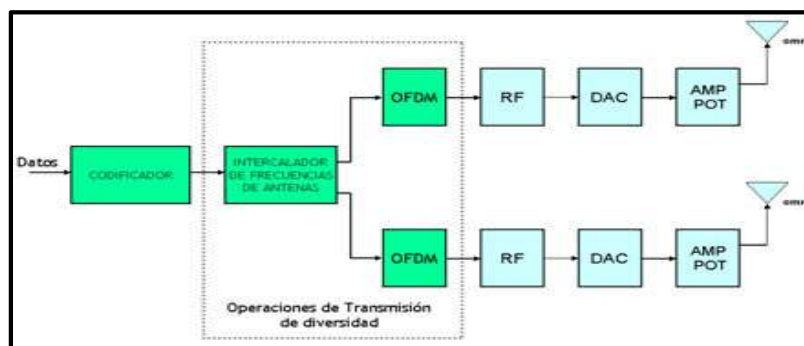


Figura 32-1. Bloques principales de un transmisor MIMO-OFDM

Fuente: <http://www.evelioux.com/mx/MIMO-la-proxima-generacion-de-la-tecnologia-Wi-Fi.html>

En la Figura 32-1 se indica los bloques principales de un transmisor MIMO-OFDM. Estos transmisores aprovechan las bondades de OFDM porque es una técnica de modulación digital que divide la señal en varios canales de banda angosta a diferentes frecuencias. OFDM presenta gran eficiencia espectral, resistencia en contra de interferencia por multitrayectorias, filtrado de ruido externo (Evelioux, 2005, <http://www.evelioux.com/mx/MIMO-la-proxima-generacion-de-la-tecnologia-Wi-Fi.html>).

Los principales bloques de procesamiento de un transmisor utilizando MIMO incluyen dos antenas de transmisión con dos moduladores OFDM idénticos, convertidores analógico-digital (ADC), moduladores analógicos de radio frecuencia (RF), amplificadores de potencia (AMP POT) y antenas con patrón omnidireccional. Un transmisor MIMO con dos antenas es un modulador digital que alimenta dos cadenas analógicas idénticas (circuitaría DAC & RF) y dos antenas idénticas omnidireccionales (Evelioux, 2005, <http://www.evelioux.com/mx/MIMO-la-proxima-generacion-de-la-tecnologia-Wi-Fi.html>).

De esta manera, la transmisión MIMO-OFDM es exactamente la misma, como si dos transmisiones OFDM simultáneas ocurrieran en el mismo canal, pero con diferentes datos digitales. Con el objetivo de incrementar la relación señal-ruido (SNR), el estándar 802.11n usa una técnica llamada transmit beamforming, que permite coordinar la señal enviada por el transmisor. El transmisor dispone de más de una antena de transmisión, el objetivo de esta técnica es mejorar de forma sustancial la señal recibida por el receptor (Evelioux, 2005, <http://www.evelioux.com/mx/MIMO-la-proxima-generacion-de-la-tecnologia-Wi-Fi.html>).

El transmit beamforming es muy práctico cuando se transmite a un sólo receptor, pero no se usa para transmisiones multicast porque no es posible optimizar la fase de la señal transmitida. Dependiendo del número de flujos de datos (data streams), se puede llegar a 300 Mbps, 450 Mbps o 600 Mbps (según si el número de flujos simultáneos es 2, 3 o 4; respectivamente). Para alcanzar una velocidad de 300 Mbps que ofrece 802.11n se requiere: multiplexar espacialmente utilizando 2 cadenas de bits simultáneas (Evelioux, 2005, <http://www.evelioux.com/mx/MIMO-la-proxima-generacion-de-la-tecnologia-Wi-Fi.html>).

1.3.6.2. Modulaciones en 802.11n

A continuación se especifican acerca de las modulaciones que se utiliza en este estándar, entre estas se encuentran OFDM, y DSSS para compatibilidad con el estándar 802.11b. Cabe recalcar que MIMO trabaja en conjunto con OFDM.

1.3.6.2.1. OFDM (Multiplexación por División en Frecuencias Ortogonales)

OFDM es un esquema de modulación de múltiples portadoras digitales, utiliza un gran número de subportadoras ortogonales espaciadas estrechamente. Cada subportadora se modula con un esquema de modulación como BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM a una velocidad de símbolos baja. A continuación en la Figura 34-1 se muestra el diagrama de OFDM.

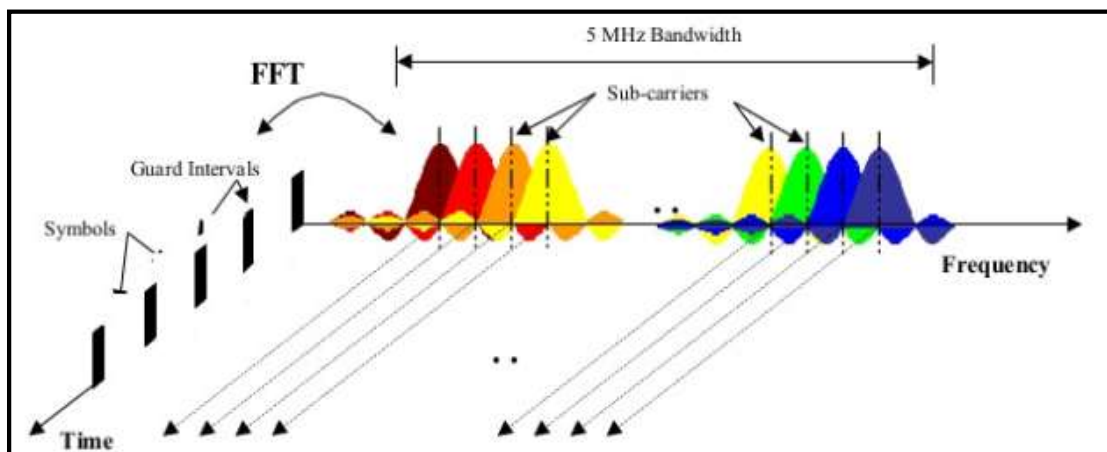


Figura 33-1. Diagrama OFDM

Fuente: <http://www.slideshare.net/sumantbhanot/tdd-lte-training-material-agilent>

OFDM ocupa un ancho de banda por canal de 5 MHz, en dicho canal existen 52 sub-portadoras ortogonales las cuales están separadas 312,5 KHz entre ellas y son moduladas digitalmente. Además de esto en el momento de enviar los símbolos se le agrega un intervalo de guarda el mismo que permite disminuir la interferencia por multitrayectoria (Blog El cajón de la verdad, 2013, <http://elcajondelaverdad.blogspot.com/2013/02/tecnologia-ofdm.html>). La técnica de espectro disperso de OFDM distribuye los datos en un gran número de carriers que están espaciados entre sí en distintas frecuencias precisas.

Ese espaciado evita que los demoduladores vean frecuencias distintas a las suyas propias. La ortogonalidad se logra haciendo coincidir los picos del espectro de las subportadoras con los valores nulos del espectro de las otras subportadoras pertenecientes al mismo canal, resultando un perfecto alineamiento y espaciado de las señales subportadoras.

OFDM es robusta frente al multitrayecto, algo frecuente en los canales de radiodifusión, a los desvanecimientos selectivos en frecuencia y a las interferencias de RF. Debido a sus características, las distintas señales con distintos retardos y amplitudes que llegan al receptor contribuyen positivamente a la recepción.

Las diferentes subportadoras no están separadas en frecuencia, se superponen. Usando IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) para la modulación, tácitamente se escoge las portadoras en que la frecuencia en la que se evalúa es la señal recibida, las demás son consideradas como cero. Para preservar la ortogonalidad el receptor y el transmisor deben estar perfectamente sincronizados, significa que deben asumir exactamente la misma frecuencia y escala de tiempo para la transmisión.

a) Estructura OFDM

Cada símbolo (combinación de fase y amplitud) transporta una gran cantidad de información (bits), estos forman la señal OFDM, a este símbolo se le inserta un intervalo de tiempo denominado prefijo cíclico. Si la señal formada por símbolos OFDM, cada uno con su prefijo cíclico y parte útil, se transmite en un medio con múltiples trayectos entre el transmisor y el receptor, la señal recibida estará formada por varias réplicas de la señal original recibidas en diferentes tiempos (eco) (Blog Albentia System, 2013, <https://albentia.wordpress.com/2013/09/05/modulacion-ofdm-wimax-madrid/>).

Ese eco hará que se mezclen los prefijos cíclicos y las partes útiles de los símbolos allí donde haya una transición entre dos símbolos y la parte útil del símbolo. En definitiva, la modulación OFDM consigue combatir la ISI mediante la inserción de un prefijo cíclico precediendo a cada símbolo, de modo que el eco generado por el multitrayecto sólo afecte a ese prefijo cíclico y los símbolos queden totalmente libres de ISI (Blog Albentia System, 2013, <https://albentia.wordpress.com/2013/09/05/modulacion-ofdm-wimax-madrid/>).

La versión 802.11n usa un prefijo cíclico de 400ns. Esto implica que la diferencia de distancia recorrida entre el trayecto más corto y el más largo no puede exceder esos 240 metros (120 metros en 802.11n), ya que de lo contrario la señal que recorra el trayecto más largo llegaría al receptor con un retraso superior a esos 800ns respecto a la señal que recorre el trayecto más corto, por lo que el solapamiento de símbolos debido al eco excedería la duración del prefijo cíclico contaminando la parte útil del símbolo (Blog Albentia System, 2013, <https://albentia.wordpress.com/2013/09/05/modulacion-ofdm-wimax-madrid/>).

b) ¿Cómo se genera un símbolo OFDM?

En un sistema de portadora única con modulación QAM, la información se transporta en una portadora de una determinada frecuencia. Según el símbolo a transmitir, se transmite la portadora con la fase y amplitud que corresponda a dicho símbolo. Cada vez que se transmite un nuevo símbolo, cambia la fase y amplitud de la portadora. El número de bits que transporta cada símbolo depende del número posible de símbolos que se definan. Si hay ocho combinaciones posibles, cada símbolo transmitirá tres bits de información (Blog Albentia System, 2013, <https://albentia.wordpress.com/2013/09/05/modulacion-ofdm-wimax-madrid/>).

El logaritmo en base dos representa el número de combinaciones posibles. La capacidad de transmisión de un sistema en portadora única acatará por tanto del número de símbolos que se transmitan por segundo (cuántas veces cambia la fase y amplitud de la portadora por segundo), y del número de bits que transporta cada símbolo.

Los símbolos empleados en la modulación OFDM deben ser más largos que el prefijo cíclico, que a su vez debe ser más largo que el máximo eco en el medio de transmisión. Desafortunadamente, si el símbolo es largo la capacidad en bits por segundo sería muy baja, salvo que cada símbolo transportase un número altísimo de bits, lo que requeriría una relación Señal-Ruido (calidad de la señal) extraordinaria para poder diferenciar las mínimas diferencias de fase y amplitud que habría la enorme cantidad de diferentes símbolos posibles (Blog Albentia System, 2013, <https://albentia.wordpress.com/2013/09/05/modulacion-ofdm-wimax-madrid/>).

Por otra parte, el ancho de banda espectral ocupado por una transmisión será exactamente el número de símbolos que se transmiten por segundo, es decir, el inverso del tiempo de símbolo. Es decir, si los símbolos duran un milisegundo, se transmitirán mil símbolos por segundo, por lo que el espectro ocupado será de 1 kHz (mil Hertzios). Así que símbolos largos ocupan muy poco espectro. Pues bien, símbolos largos llevan poca información y ocupan muy poco espectro. La modulación OFDM compensa la poca capacidad de los símbolos largos con la transmisión de muchas portadoras (“subportadoras”) en paralelo, cada una a una frecuencia diferente para que no se entremezclen (Blog Albentia System, 2013, <https://albentia.wordpress.com/2013/09/05/modulacion-ofdm-wimax-madrid/>).

La parte útil de un símbolo OFDM está formado por la transmisión de muchas subportadoras en paralelo. Cada subportadora transmite muy poca información, pues la velocidad de símbolo es muy baja (símbolos largos), pero al haber muchas subportadoras se logra una alta capacidad. El prefijo cíclico es la última parte útil del símbolo

Los parámetros de los sistemas OFDM son los siguientes (Pilar, p.48):

- ❖ Tasa de datos: De 6 Mbps a 48 Mbps
- ❖ Tipo de modulación: BPSK , QPSK , 16 QAM y 64 QAM
- ❖ Codificación: Convolutacional con Reed Solomon.
- ❖ Período de la FFT: denominado período de símbolo, su valor típico es de $1/\Delta = 3.2 \mu\text{seg}$
- ❖ Tamaño de la FFT: 64 de los cuales se usan sólo 52, 48 para datos y 4 para señales piloto.
- ❖ Separación de frecuencia entre subportadoras: 64 subportadoras separadas 0.3125 MHz.
- ❖ Duración del período de guarda: Un cuarto de símbolo, es decir, 0.8 μseg .
- ❖ Tiempo de símbolo: 4 μseg

En la modulación OFDM cada subportadora utiliza un esquema de modulación tal como 16-QAM, 64-QAM, QPSK, BPSK. A continuación una breve explicación de estas modulaciones, en la Figura 34-1 se observa la separación de subportadoras, las mismas que se modulan con los esquemas de modulación antes mencionados.

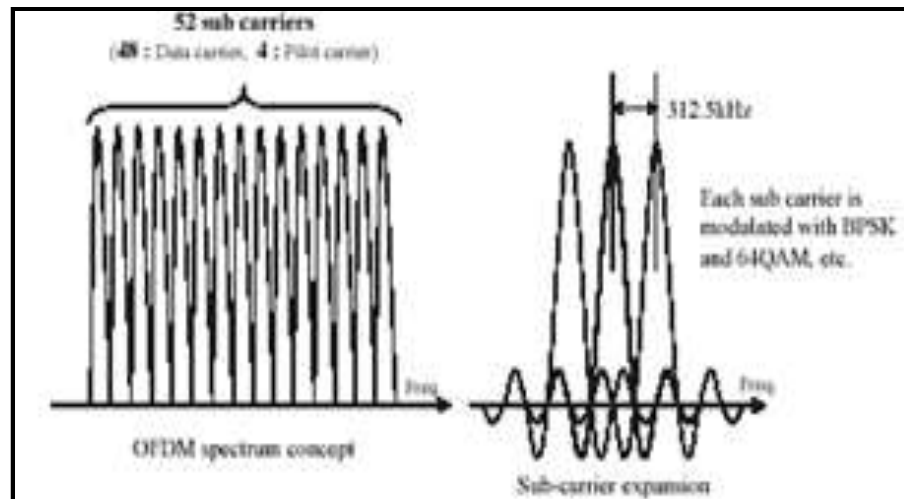


Figura 34-1. Modulación BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM con OFDM

Fuente: <http://elcajondelaverdad.blogspot.com/2013/02/tecnologia-ofdm.html>

c) *Modulación QAM, 16-QAM y 64-QAM*

QAM: La señal modulada en QAM está compuesta por la suma lineal de dos señales previamente moduladas en Doble Banda Lateral con Portadora Suprimida. Así se obtienen distintas combinaciones de amplitud y fase, obteniendo modulaciones: 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, 128-QAM, 256-QAM, al usar distintas combinaciones se puede obtener en una misma velocidad de modulación una mayor tasa de bits (velocidad de transmisión).

16-QAM: es una modulación que tiene 4 bits de entrada de datos binarios, los mismos que proporcionan 16 valores posibles, cambian la fase y la amplitud de la portadora para derivar 16 estados de modulación únicos.

64-QAM: tiene 6 bits de entrada de datos binarios, los mismos proporcionan 64 valores posibles, cambian la fase y la amplitud de la portadora para derivar 64 estados de modulación únicos.

d) Modulación PSK, BPSK y QPSK

La **modulación por desplazamiento de fase** o **PSK** (Phase Shift Keying) es una modulación angular que consiste en variar la fase de la portadora entre un número de valores discretos, la señal moduladora es una señal digital. Se caracteriza porque la fase de la señal portadora representa cada símbolo de información de la señal moduladora, con un valor angular que el modulador elige entre un conjunto discreto de "n" valores posibles.

BPSK (PSK Binario).- Modulación de desplazamiento de fase de 2 símbolos. Emplea 2 símbolos, con 1 bit de información cada uno. Presenta mayor inmunidad al ruido, puesto que la diferencia entre símbolos es máxima (180°). Dichos símbolos suelen tener un valor de salto de fase de 0° para el 1 y 180° para el 0. Su velocidad de transmisión es la más baja de las modulaciones de fase.

QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying). – Es una modulación digital con cuatro fases, codifica dos bits por cada símbolo. La asignación de bits a cada símbolo se realiza mediante el código Gray, que consiste en dos símbolos adyacentes, los símbolos solo se diferencian en 1 bit, con lo que se minimiza la tasa de bits erróneos. El análisis matemático muestra que un sistema QPSK puede usarse para duplicar la tasa de datos. En la tabla 10-1 se hace una breve comparación entre las Modulaciones BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, en la misma se encuentra los bits/símbolo que se transmite y el número de estados de modulaciones.

Tabla 10-1: Comparación (BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM)

Modulación	Bits/símbolo	# Estados
BPSK	1	2
QPSK	2	4
16-QAM	4	16
64-QAM	6	64

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

1.3.6.2.2. DSSS (Espectro Ensanchado por Secuencia Directa)

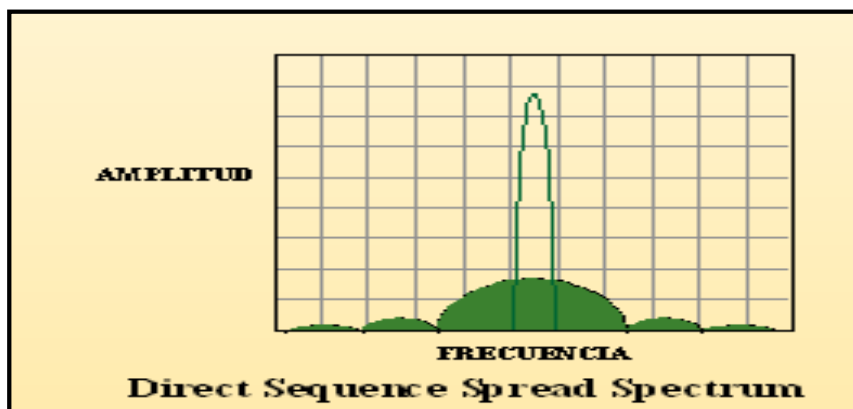


Figura 35-1. Modulación DSSS

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos103/redes-inalambricas-banda/redes-inalambricas-banda.shtml>

En la Figura 35-1 se observa el espectro de la Modulación DSSS. El espectro ensanchado por secuencia directa es una técnica de codificación que utiliza un código de pseudoruido para modular digitalmente una portadora, de tal forma que aumente el ancho de banda de la transmisión y reduzca la densidad de potencia espectral (es decir, el nivel de potencia en cualquier frecuencia dada). La señal resultante tiene un espectro muy parecido al del ruido, de tal forma que a todos los radiorreceptores les parecerá ruido menos al que va dirigida la señal.

En esta técnica se genera un patrón de bits redundante para cada uno de los bits que componen la señal. Cuanto mayor sea este patrón de bits, mayor será la resistencia de la señal a las interferencias. El estándar IEEE 802.11 recomienda un tamaño de 11 bits, pero el óptimo es de 100. En recepción es necesario realizar el proceso inverso para obtener la información original. La secuencia de bits utilizada para modular los bits se conoce como secuencia de Barker (también llamado código de dispersión o pseudoruido) (Monografias.com, <http://www.monografias.com/trabajos103/redes-inalambricas-banda/redes-inalambricas-banda.shtml>).

Es una secuencia rápida para que surja aproximadamente la misma cantidad de 1 que de 0. Un ejemplo es la siguiente. +1-1+1+1-1+1+1+1-1-1-1. Solo los receptores a los que el emisor haya enviado previamente la secuencia podrán recomponer la señal original. Además, al sustituir cada bit de datos a transmitir, por una secuencia de 11 bits equivalente, aunque parte de la señal de transmisión se vea afectada por interferencias, el receptor aún puede reconstruir fácilmente la información a partir de la señal recibida (Monografias.com, <http://www.monografias.com/trabajos103/redes-inalambricas-banda/redes-inalambricas-banda.shtml>).

Esta secuencia proporciona 10.4dB de aumento del proceso. Una vez aplicada secuencia de Barker, el estándar IEEE 802.11n define dos tipos de modulación para DSSS, la modulación DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying) y la modulación DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying), que proporcionan una velocidad de transferencia de 1 y 2 Mbps respectivamente. Las frecuencias vienen comprendidas entre 2.412 y 2.484GHz. Estas son divididas en 14 canales, cada canal está separado por 0.05GHz. Para cada canal es necesario un ancho de banda de unos 22 MHz para poder transmitir la información y no se produzca solapamiento de los canales próximos. Si algunos puntos de acceso están cerca hay que separarlos.

1.3.6.3. Características de 802.11n

1.3.6.3.1. Mejoras de radio

802.11n incluye mejoras de radio para perfeccionar el caudal neto de la WLAN. Los cambios son: el incremento del ancho del canal, el aumento en la velocidad de la modulación y la reducción de las cabeceras (Mounhamed, 2012, p-37). A continuación se detallan estas mejoras.

- ❖ Incremento del canal de transmisión.- 802.11n usa canales con ancho de banda de 20MHz y 40MHz. El canal de 40MHz está formado por dos canales de 20MHz adyacentes. Este solapamiento ayuda aprovechar el ancho de banda de las cabeceras de inicio del canal y de la cola del canal para enviar datos, al sumarlos se obtiene un canal de 40MHz tal como se muestra en la Figura 36-1:

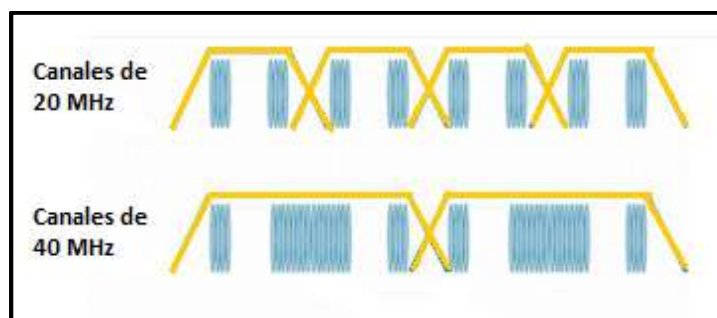


Figura 36-1. Canales de 20 MHz y 40 MHz

Fuente: Realizado por Deysi Tixi. 2016

- ❖ Alta tasa de modulación.- 802.11n usa la modulación OFDM de 2 símbolos por microsegundo. OFDM fragmenta un canal de transmisión en varios subcanales, estos tienen su

propia subportadora y pueden transportar información independientemente. El del canal de 40MHZ suministra más portadoras, aumentando la velocidad de transmisión.

- ❖ Reducción de cabeceras (intervalo de guarda).- el intervalo de guarda es un período de tiempo que se utiliza para minimizar la interferencia entre símbolos. 802.11n usa un intervalo de guarda de 800 nanosegundos, también de 400 nanosegundos, lo que implica una reducción del tiempo de transmisión de un símbolo y aumentando la tasa de transferencia.

1.3.6.3.2. Mejoras en la MAC

El fragmento transmitido en equipos 802.11 tiene un campo de cabecera fijo y el campo MAC. La Figura 37-1 muestra la cabecera (Mounhamed, 2012, p.39):

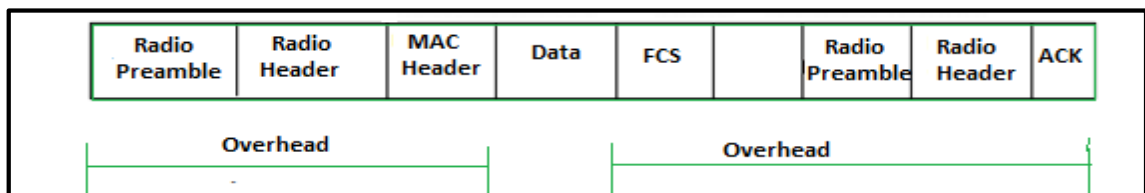


Figura 37-1. Cabecera de la trama 802.11

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

En 802.11n el Frame Aggregation que fundamenta el envío de dos o más fragmentos en una sola transmisión como se muestra en la Figura 38-1:

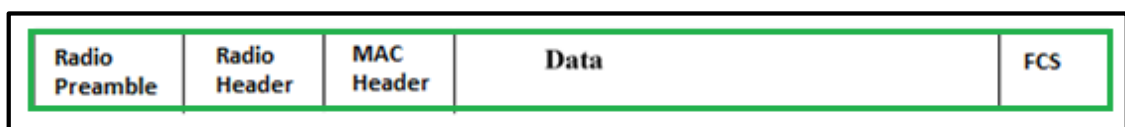


Figura 38-1. Frame Aggregation

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

El estándar 802.11n especifica dos métodos de frame aggregation: Mac Service Data Unit (MSDU) y Message Protocol Data Unit (MPDU). Con estos métodos el tamaño de la trama aumenta de 4KB a 64KB y el número de colisiones se reduce. La limitación de esta técnica es que las tramas agregadas en la transmisión deben tener el mismo destino.

1.3.6.4. Arquitectura 802.11n

En la arquitectura 802.11n se encuentran la capa de enlace de datos y la capa física. La capa física detalla las especificaciones eléctricas y el tipo de señal para la transmisión de datos, en cambio la capa de enlace de datos puntualiza la interfaz entre el bus de la máquina y la capa física, especialmente un método de acceso similar al utilizado en el estándar Ethernet. La capa de enlace de datos se subdivide en LLC y MAC. En la subcapa MAC se utiliza (CSMA/CA), ACK, la fragmentación, y la seguridad. En la capa física se utiliza las modulaciones DSSS, MIMO con OFDM. En la figura 39-1 se observa dicha arquitectura.

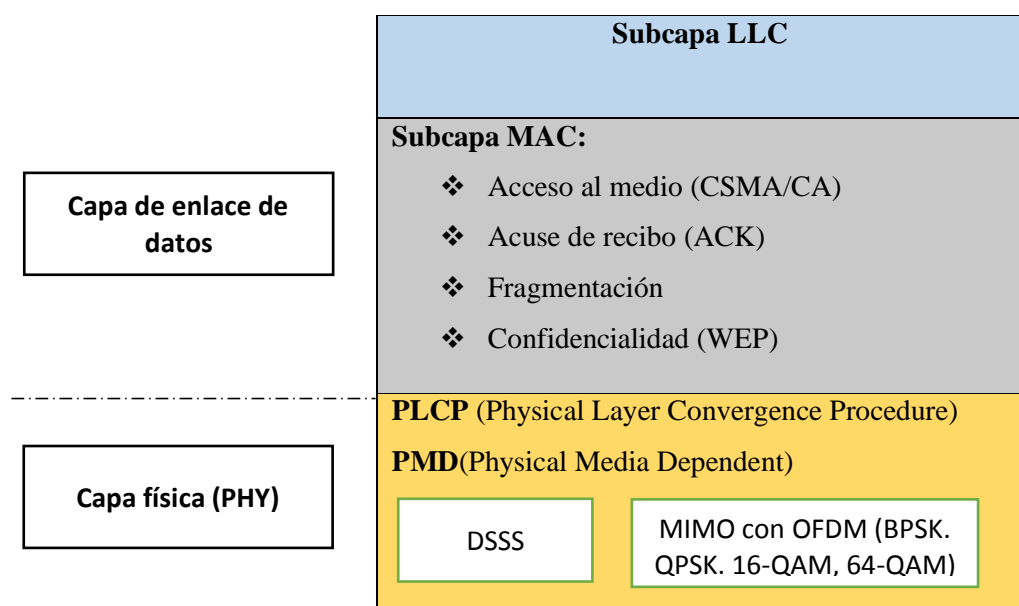


Figura 39-1. Arquitectura 802.11n

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

1.3.6.5. MCS (Modulation and Coding Scheme) de 802.11n

MCS es una combinación de una modulación (BPSK, QPSK, 64-QAM), la tasa de codificación o Coding Rate (1/2, 3/4), el intervalo de guarda o Guard Interval (800ns o 400ns) y el número de secuencias espaciales o Spatial Streams. Todos los puntos de acceso 802.11n deben soportar (como mínimo) desde MCS0 hasta MCS15 y los clientes 802.11n desde MCS0 hasta MCS7 (La cueva Wifi, 2011). A continuación, en la Tabla 11-1 la combinación MCS0 al 15.

Tabla 11-1: Sistema de Codificación y Modulación de 802.11n

MCS index	Spatial streams	Modulation type	Coding rate	Data rate (Mbit / s)			
				20 MHz channel		40 MHz channel	
				800ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI
0	1	BPSK	1/2	6.50	7.20	13.50	15.00
1	1	QPSK	1/2	13.00	14.40	27.00	30.00
2	1	QPSK	3/4	19.50	21.70	40.50	45.00
3	1	16-QAM	1/2	26.00	28.90	54.00	60.00
4	1	16-QAM	3/4	39.00	43.30	81.00	90.00
5	1	64-QAM	2/3	52.00	57.80	108.00	120.00
6	1	64-QAM	3/4	58.50	65.00	121.50	135.00
7	1	64-QAM	5/6	65.00	72.20	135.00	150.00
8	2	BPSK	1/2	13.00	14.40	27.00	30.00
9	2	QPSK	1/2	26.00	28.90	54.00	60.00
10	2	QPSK	3/4	39.00	43.30	81.00	90.00
11	2	16-QAM	1/2	52.00	57.80	108.00	120.00
12	2	16-QAM	3/4	78.00	86.70	162.00	180.00
13	2	64-QAM	2/3	104.00	115.60	216.00	240.00
14	2	64-QAM	3/4	117.00	130.00	243.00	270.00
15	2	64-QAM	5/6	130.00	144.40	270.00	300.00

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

1.3.7. Parámetros de ondas Wifi

1.3.7.1. Transmisión

Para la transmisión usa ondas de radio que viajan por el espacio libre. Además utiliza la frecuencia de 2,4 y 5GHz. Su velocidad es de 300Mbps. Además permite un ancho de banda de 40 MHz. Para transmitir se requiere de un punto de acceso y un dispositivo receptor que reciba señal.

1.3.7.2. Propagación

Para la propagación de la onda de radio se toma a consideración el alcance, la velocidad de propagación, y si perjudica a la salud de las personas, además tiene propiedades de reflexión, difracción, refracción y absorción. En la Figura 40-1 se observa un ejemplo de la propagación de la señal Wifi (802.11n), las mismas que viajan a la velocidad de la luz.



Figura 40-1. Propagación de ondas Wifi

Fuente: <http://www.taringa.net/posts/info/16967697/Te-has-preguntado-como-se-ve-la-senal-WiFi.html>

1.3.7.2.1. Reflexión

En la Figura 41-1 se visualiza la reflexión de ondas Wifi. La reflexión afecta a todas las transmisiones inalámbricas, un elemento metálico actúa como un espejo a las ondas provocando bloquear la transmisión y producir un reflejo. El bloqueo de la señal puede crear áreas sin cobertura Wifi. Los puntos de acceso transmiten omnidireccionalmente con cierta polarización en algunos sentidos, por lo tanto la señal se propaga en dirección al cliente aunque también en otras direcciones (Observatorio Tecnológico, 2011, <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/fr/cajon-de-sastre/38-cajon-de-sastre/961-monografico-redes-wifi?start=1>).

Si en esas otras direcciones se topa con una material que refleje la señal, resulta que al usuario le llegue una nueva señal por esa reflexión. El problema de la señal reflejada es que el camino recorrido no es igual en longitud y por lo tanto llega con un retraso con respecto a la señal directa y con respecto a otras señales reflejadas. El usuario detectará diversas señales, tanto directas como reflejadas. Estas señales se comportan como interferencias influyendo negativamente en el funcionamiento. (Observatorio Tecnológico, 2011, <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/fr/cajon-de-sastre/38-cajon-de-sastre/961-monografico-redes-wifi?start=1>).

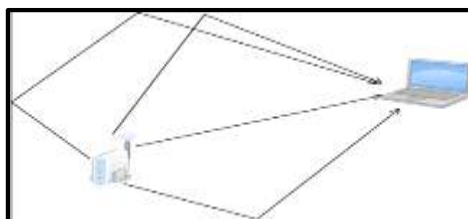


Figura 41-1. Reflexión de ondas Wifi

Fuente: <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/fr/cajon-de-sastre/38>

El efecto de recibir varias señales se denomina “multipath”, en las redes Wi-Fi es común porque se desarrollan en entornos interiores donde existen gran cantidad de obstáculos tanto arquitectónico como objetos que provocan reflexiones. Para evitar esta molestia es necesario buscar una nueva ubicación para el punto de acceso. 802.11n al incluir MIMO, permite al sistema ser más robusto ante interferencias, rebotes de señal y alcanzar mayores distancias y velocidades. Los frigoríficos, fotocopadoras, aires acondicionados son fuentes de interferencia de amplio espectro. Los tubos fluorescentes en mal estado pueden producir también interferencias (Observatorio Tecnológico, 2011, <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/fr/cajon-de-sastre/38-cajon-de-sastre/961-monografico-redes-wifi?start=1>).

1.3.7.2.2. Difracción

Se define como la modulación o redistribución de energía dentro de un frente de onda, al pasar cerca de un objeto opaco. Permite a las ondas de radio se propagen en torno a esquinas.

1.3.7.2.3. Refracción

Las ondas de radio sufren una desviación en su trayectoria cuando atraviesa de un medio a otro con densidad distinta.

1.3.7.2.4. Absorción

Una onda de radio al topar con un obstáculo, parte de su energía se absorbe y se convierte en otro tipo de energía, mientras que otra parte se atenúa y sigue propagándose, otra parte se refleje.

1.3.7.3. Atenuación

La atenuación se da cuando la energía de una señal se reduce en el momento de transmitir. Por lo general, se usa los decibelios (dB) como unidad de medida y se representa por la Ecuación 1-1:

Ecuación 1-1: Atenuación

$$A \text{ (dB)} = 10 \cdot \log \left(\frac{P_2}{P_1} \right)$$

Cuando A es positivo, se denomina amplificación, y cuando es negativo se denomina atenuación. En los casos de transmisiones inalámbricas, la atenuación es más común, en la Figura 42-1 se muestra que la potencia de entrada es 100mW pero al chocar con un obstáculo se reduce la potencia a la mitad, y por ende tiene un grado de atenuación de 3dB, además la atenuación depende de la distancia.

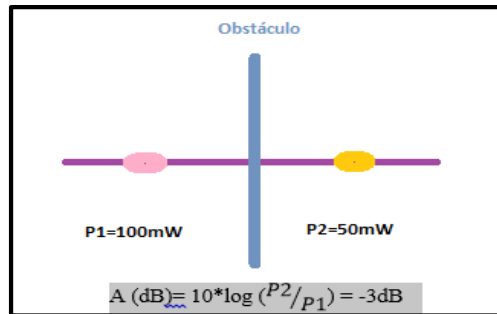


Figura 42-1. Atenuación de ondas Wifi

Realizado por Deysi Tixi. 2016

La atenuación aumenta cuando se aumenta la distancia. Asimismo, cuando la señal choca con un obstáculo, depende del tipo de material. Los obstáculos metálicos tienden a reflejar una señal, en tanto que el agua la absorbe. La Tabla 12-1 muestra los niveles de atenuación en los materiales.

Tabla 12-1: Grado de atenuación en algunos materiales

Materiales	Grado de atenuación
Aire	Ninguno
Madera	Bajo
Vidrio	Bajo
Seres vivientes	Medio
Ladrillos	Medio
Cerámica	Alto
Concreto	Alto
Metal	Muy alto

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

1.3.7.4. Dispersión

Consiste en la separación de las ondas de distinta frecuencia al atravesar un material. Todos los materiales son más o menos dispersivos, y la dispersión afecta a las ondas de radio que atraviesan el espacio interestelar, además se toma en consideración el índice de refracción que es 1 y la longitud de onda de la tecnología.

1.3.8. Ventajas y Desventajas de 802.11n

1.3.8.1. Ventajas

1.- Las antenas Wifi 802.11n introducen varias mejoras a las capas 802.11 PHY y MAC que resultan mejor en throughput y confiabilidad para redes inalámbricas (Blog las TIC, 2012, <http://ticylamejorasocial.blogspot.com/2012/04/estandar-redes-locales-inalambricas.html>). Entre estas mejoras:

- ❖ **OFDM Mejorado:** Modulación OFDM nueva y más eficiente que provee anchos de banda más amplios y mayores velocidades de datos.
- ❖ **Canales de 40 MHz:** 802.11n duplica las velocidades de datos mediante el incremento del ancho de canal de transmisión. 802.11n consigue el máximo de su capacidad siempre y cuando esté configurado con ancho de banda de 40 MHz en la banda de 5 GHz.
- ❖ **Multiple-Entrada / Múltiple-Salida:** Un sistema de radio (transceptor) con múltiples entradas al receptor y múltiples salidas del transmisor capaz de enviar o recibir múltiples cadenas de datos simultáneamente.
- ❖ **Agregación de Tramas:** 802.11n mejora la capa MAC y reduce la transmisión de encabezados porque permite que varias tramas de datos sean enviadas como parte de una sola transmisión. Adicionalmente reduce el espaciado entre tramas lo cual permite que la transmisión sea completada en menor tiempo, liberando el medio para su uso por otras transmisiones, y así incrementando la eficiencia y throughput de la red.

2.- **Más canales disponibles para planificar.-** la banda de 5 GHz dispone de más canales.

3.- **Garantiza altas tasas de transferencia.-** se certifican hasta 300Mbps estables. El Wifi n es compatible con los protocolos a/b/g. También es muy importante el receptor para garantizar una buena velocidad y estabilidad de conexión. La tasa de transferencia depende del número de bits que se envía, la modulación, el ancho de banda y la implementación del SGI (Short Guard Interval) (Mis libros de Networking, 2009).

1.3.8.2. Desventajas

1.- Los clientes consumen más energía cuando se trabaja con antenas 802.11n MIMO.

2.- Patrón de cobertura Irregular.- La cobertura de un punto de acceso 802.11n es más irregular que la cobertura de los puntos de acceso basados en 802.11 a/b/g. Esto puede dar lugar a agujeros de cobertura más alto y, posiblemente interferencias en el mismo canal, en la Figura 43-1 se muestra este conveniente en la cobertura (Blog las TIC, 2012, <http://ticylamejorasocial.blogspot.com/2012/04/estandar-redes-locales-inalambricas.html>).

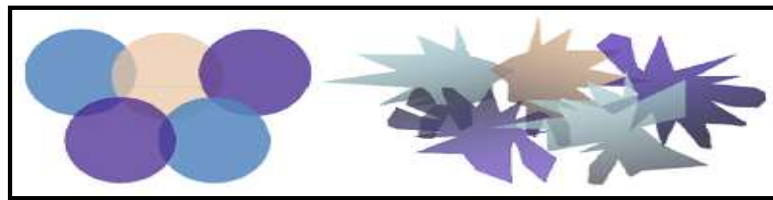


Figura 43-1. Patrón de cobertura de 802.11n

Fuente: <http://ticylamejorasocial.blogspot.com/2012/04/estandar-redes-locales-inalambricas.html>

1.3.9. Sistemas de Seguridad de las redes Wifi

Entre los principales sistemas de seguridad se encuentran (Culturación, 2014, <http://culturacion.com/que-es-una-conexion-wifi-ii/>):

WEP: se encarga de cifrar los datos con dos tipos de niveles de seguridad (64 y 128 bits).

WPA: presenta un cambio dinámico en la generación de contraseñas.

IPSEC: conocidos como túneles IP, gestionan la autenticación de acceso de usuarios.

Filtrados MAC: permiten filtrar el acceso a la red mediante las direcciones MAC de dispositivos.

Ocultamiento del AP: esconde el AP a los usuarios que no formen parte de la red.

WPA2: WPA mejorado, requiere que los dispositivos sean compatibles con esta tecnología.

1.3.10. Wifi y el Medio Ambiente

La potencia emitida por los equipos WIFI (~100 mW) es cien veces menor que la de los teléfonos móviles (~1 W). Por lo general el teléfono se usa cerca del cerebro, lo que no sucede con los equipos WIFI se usa a una distancia mayor, la potencia de la señal es bastante atenuada. Por ello, si las ondas emitidas por los teléfonos móviles fueran nocivas para la salud, los efectos de las

señales Wifi serían despreciables. Los desarrolladores de la telefonía móvil han asegurado que para la transmisión de datos por medio de ondas electromagnéticas, no ocasionan ningún perjuicio para nuestra salud, y se hace esta comparación debido a que la tecnología Wifi ha llegado a estos dispositivos móviles.

1.3.11. Diseño de red Wifi

Para una red Wifi se requiere lo siguiente y su diagrama se muestra en la Figura 44-1:

- ❖ Conexión a Internet
- ❖ Módem ADSL (siempre y cuando este dispositivo no disponga de una conexión WLAN)
- ❖ Access Point (se configura SSID, password, seguridad, DHCP, un servidor DNS, número de LANs y Wlans)
- ❖ Dispositivo receptor con Wifi 802.11n

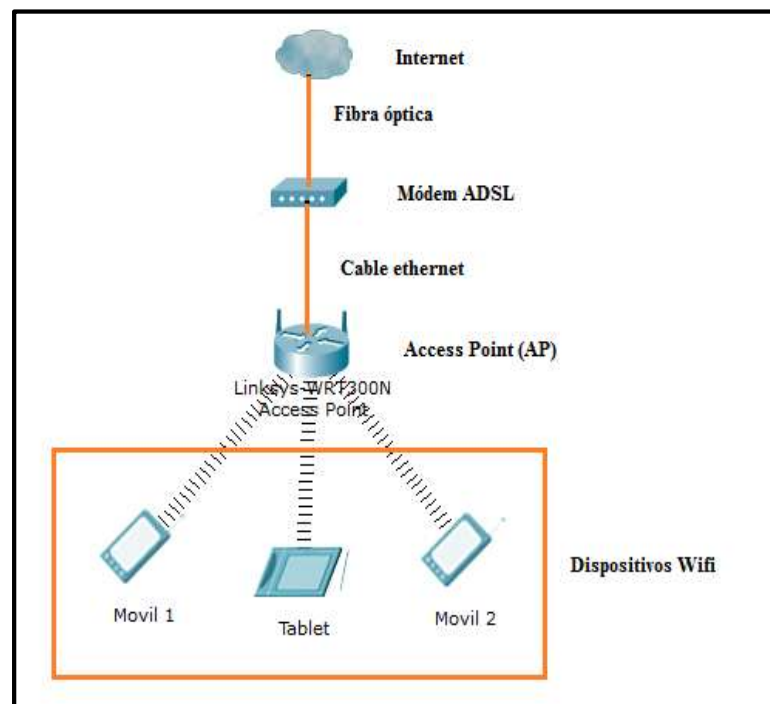


Figura 44-1. Diagrama de red Wifi

Fuente: Realizado por Deysi Tixi

1.3.12. Aplicaciones Wifi

Wifi se aplica en los siguientes lugares (Wificlub, 2010, <http://www.wificlub.org/featured/wifi-historia-evolucion-aplicaciones-desarrollos/>):

- ❖ **En el hogar.-** para el Home Networking porque permite la interconexión de diferentes dispositivos de forma inalámbrica bajo un mismo estándar de forma sencilla y económica.
- ❖ **En la empresa.-** para el Office Networking porque hay ausencia de cableado y se accede a la red independientemente del lugar de trabajo.
- ❖ **En el ambiente público.-** para los PWLAN (Public Wireless Local Área Network) representando una oportunidad de negocio tanto para los fabricantes como para empresas.
- ❖ **En el teletrabajo.-** un teletrabajador es una persona que emplea gran parte del horario de trabajo fuera de la oficina y desde el hogar realiza gran parte de su actividad laboral.
- ❖ **En los hoteles.-** aparece como un valor añadido que ofrecer a sus clientes, posibilitando la conexión a Wifi desde las habitaciones y espacios comunes.
- ❖ **En la Seguridad.-** permite la interconexión inalámbrica de dispositivos de seguridad como sensores remotos, cámaras de vídeo vigilancia.
- ❖ **En la universidad.-** alcanzando lugares como cafeterías, bibliotecas, salas y laboratorios.

1.3.13. Tipos de hardware Wifi

Entre los tipos de hardware encontramos los adaptadores inalámbricos y los puntos de acceso.

1.3.13.1. Adaptadores inalámbricos

Los adaptadores inalámbricos o controladores de la interfaz de red (*Network Interface Controller-NIC*) son tarjetas que permiten a un equipo conectarse a una red inalámbrica. Se encuentran como tarjetas PCI, tarjetas PCMCIA, adaptadores USB y tarjetas Compact Flash, en la Figura 45-1 se observa este tipo de dispositivos (Monografías.com, <http://www.monografias.com/trabajos90/modos-funcionamiento-redes-wifi/modos-funcionamiento-redes-wifi.shtml#ixzz492W7xnlm>).



Tarjetas PCI

Adaptadores USB

**Adaptadores
PCMCIA**

Figura 45-1. Adaptadores inalámbricos

Realizado por Deysi Tixi. 2016

1.3.13.2. Los puntos de acceso

Los puntos de acceso (AP) pueden permitirles acceder a una red Wifi. Los AP usan diferentes modos de configuración. A continuación una breve explicación (Blog Redes Telemáticas, 2014, <http://redestelematicas.com/modos-de-funcionamiento-de-las-redes-wi-fi/>).

1.3.13.2.1. Modo AP o infraestructura

Es muy común en entornos profesionales donde es necesario proporcionar acceso Wifi en áreas extensas, es interoperable porque funciona utilizando APs de diferentes fabricantes. Lo importante es que utilicen el mismo estándar Wifi y el mismo SSID, tipo de seguridad y clave.

1.3.13.2.2. Modo WDS (Wireless Distribution System)

Permite establecer una conexión directa inalámbrica entre dos APs. Es un modo utilizado para establecer puentes inalámbricos que permitirán conectar dos redes separadas. Útil cuando es necesario unir dos redes separadas físicamente.

1.3.13.2.3. Modo WDS con AP

Permite a un AP establecer un puente inalámbrico con otro AP y al mismo tiempo establecer una red Wifi. Para llevar a cabo esta configuración es necesario que el AP soporte el modo WDS con AP. Esta solución sólo es recomendable cuando el número de dispositivos Wifi conectados es muy pequeño.

1.3.13.2.4. Modo Repeater (también denominado modo Range Extender)

Se utiliza en los entornos residenciales porque permite ampliar la cobertura de la red proporcionada por el router Wifi del ISP. El AP en modo Repeater se conecta al AP principal como cliente Wifi y genera una nueva área de cobertura Wifi para que otros dispositivos se conecten a dicha red.

1.3.13.2.5. Modo Wireless Client

Este modo permite que un AP se comporte como un cliente Wifi. Se utiliza para establecer un puente inalámbrico con APs de diferente fabricante, dicho puente se establece utilizando las características del estándar Wifi.

CAPITULO II

MARCO METODOLÓGICO

A continuación se detalla la metodología utilizada en el trabajo de titulación, que consta lo siguiente: Metodología de la Investigación, Metodología de la Comparación y Metodología de Resultados.

2.1. Metodología de la Investigación

En esta metodología se encuentra el tipo de investigación, los métodos de investigación y las técnicas de investigación.

2.1.1. Tipo de investigación

Se utiliza una investigación descriptiva porque se analiza las características que presenta cada una de las tecnologías inalámbricas. Se emplea una investigación analítica para conocer la tecnología con las mejores prestaciones y que transmite eficientemente los datos, mediante la comparación de los parámetros de transmisión, propagación, atenuación, dispersión y modulación. Y también se analizará el costo/beneficio que representan las tecnologías para ser implementadas y los aspectos teóricos mediante un análisis FODA de ambas tecnologías.

2.1.2. Método de investigación

Se utiliza el método analítico para examinar la información obtenida de las tecnologías, para concluir con la mejor tecnología de comunicación inalámbrica que cumpla con las mejores prestaciones y características para su transmisión. También se utiliza el método comparativo para la comparación entre Lifi y Wifi.

2.1.3. Técnicas de investigación

La técnica a emplear es de tipo investigación documental, porque se obtiene información de libros, revistas, páginas web, artículos científicos.

2.2. Metodología de la Comparación

En esta sección del capítulo para determinar la tecnología con mayor prestación se procede a realizar la comparación de información obtenida en el capítulo anterior. Para realizar la comparación se basa en los siguientes parámetros: transmisión, propagación, atenuación, dispersión y modulación, en cada parámetro se efectúa una valoración a cada índice de acuerdo al rango de operación y luego se califica con respecto a la valoración, con el fin de obtener valores numéricos analíticos para posteriormente realizar el análisis y comprobar que tecnología es superior a la otra.

Todos los índices de los parámetros se establecen de acuerdo al estudio técnico realizado, de la información del libro de Wayne Tomasi, Tesis de Pregrado de Lifi y Wifi y páginas Web de Lifi. Se consideran cinco parámetros con sus respectivos índices para así establecer las ventajas y debilidades de estos por separado. A continuación se describe estos parámetros (Wayne, 2003, pp. 300 - 431):

❖ Transmisión

Frecuencia

Ancho de banda

Velocidad

❖ Propagación

Alcance

Velocidad de propagación

Perjudicial para la salud

❖ Atenuación

Pérdida de la señal

Grado de atenuación por obstáculos

❖ **Dispersión**

Índice de refracción

Longitud de onda

❖ **Modulación**

Data rate

FEC

Se establecen estos cinco parámetros porque hacen eficiente una transmisión inalámbrica. Además tienen un grado de importancia muy alto por las siguientes razones.

Tabla 1-2: Importancia de los parámetros de comparación

Parámetro	Importancia
Transmisión	Es importante porque se puede trasladar información inalámbrica a usuarios, mediante ondas de radio, luz visible entre otros.
Propagación	La propagación de ondas electromagnéticas es importante porque llevan la información y viajan a la velocidad de la luz, son invisibles y dependen de la velocidad de propagación.
Atenuación	Se considera este parámetro porque representa la pérdida de potencia por razones de distancia y obstáculos que interfieren.
Dispersión	Es la separación de las ondas de distinta frecuencia al atravesar un material dependiendo del índice de refracción y la longitud de onda.
Modulación	Engloba el conjunto de técnicas que se usan para transportar información sobre una onda portadora sinusoidal. Estas técnicas permiten un mejor aprovechamiento del canal de comunicación lo que posibilita transmitir más información de forma simultánea además de mejorar la resistencia contra posibles ruidos e interferencias.

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

2.2.1. Parámetro de Transmisión

En la transmisión se toma en cuenta los índices como frecuencia, velocidad y ancho de banda. Ver Tabla 2-2, en la misma consta la frecuencia de trabajo, velocidad y ancho de banda que posee cada tecnología.

Tabla 2-2: Rango de operación de los índices de transmisión en Lifi y Wifi

Parámetro de transmisión		
Índice	Lifi	Wifi
Frecuencia	385 – 789 THz	2.4 – 5 GHz
Velocidad	1 Gbps	300 Mbps
Ancho de banda	45-98 THz	40 Mhz

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

En la Ecuación 1-2 y Ecuación 2-2 se encuentra la fórmula de la longitud de onda y frecuencia respectivamente, con la fórmula de la frecuencia se determina el rango de frecuencia en el que trabaja Lifi, además las longitudes de onda de Wifi.

Ecuación 1-2: Longitud de onda

$$\lambda = c/f$$

Ecuación 2-2: Frecuencia

$$f = c/\lambda$$

Lifi

$$f = 3 \times 10^8 / 380 \times 10^{-9} = 789 THz$$

$$f = 3 \times 10^8 / 780 \times 10^{-9} = 385 THz$$

Wifi

$$\lambda = 3 \times 10^8 / 2.4 \times 10^9 = 125 mm$$

$$\lambda = 3 \times 10^8 / 5 \times 10^9 = 60 mm$$

2.2.1.1. Valoración

Para realizar el análisis y determinar la mejor tecnología con referencia a la otra se establece una valoración a cada índice estudiado, por lo tanto se basa en la ventaja que posee cada una de las características con respecto a la otra de acuerdo a las especificaciones de trabajo.

Confiabilidad de transmisión: Se expone una valoración de 1 a 3, teniendo en cuenta que esta es directamente proporcional al valor de la frecuencia de trabajo por lo tanto para la valoración de la confiabilidad de transmisión se tomará en cuenta la frecuencia, asumiendo que a menor frecuencia la confiabilidad de datos es alta. En la Tabla 3-2, constan los rangos de frecuencia, su valoración cuantitativa y cualitativa, y además en la Figura 1-2 se observa gráficamente los datos que contiene esta tabla.

Para valorar la confiabilidad se toma en cuenta las pérdidas en el espacio libre ya que este es directamente proporcional al alcance y frecuencia. A continuación se presenta las siguientes

ecuaciones de pérdidas en el espacio libre comprobando que es alta en frecuencias altas y baja en frecuencias bajas, por lo tanto alta es la confiabilidad a bajas frecuencias.

Ecuación 3-2: Pérdidas en el espacio libre

$$P_p \text{ (dB)} = 92,4 + 20\log (f/\text{GHz}) + 20\log (d/\text{km})$$

Lifi permite una cobertura de 10m, lo que equivale a (d)

$$L_p \text{ (dB)} = 92,4 + 20\log (385000) + 20\log (0,010) = 164,11 \text{ dB}$$

$$L_p \text{ (dB)} = 92,4 + 20\log (789000) + 20\log (0,010) = 170,34 \text{ dB}$$

Wifi brinda una cobertura de 100m

$$L_p \text{ (dB)} = 92,4 + 20\log (2,4) + 20\log (0,100) = 80 \text{ dB}$$

$$L_p \text{ (dB)} = 92,4 + 20\log (5) + 20\log (0,100) = 86,38 \text{ dB}$$

Tabla 3-2: Valoración para la confiabilidad en función de la frecuencia

Confiabilidad de transmisión		
Rango Frecuencia	Valoración Cuantitativa	Valoración Cualitativa
0 - 5 GHz	3	Alta
6 - 10 GHz	2	Media
Mayor o igual 1 THz	1	Baja

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

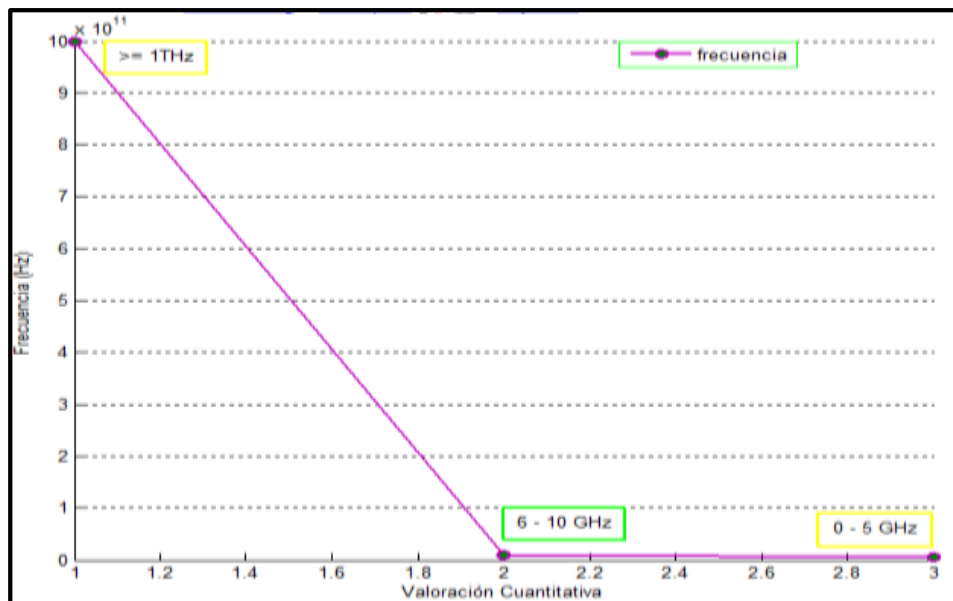


Figura 1-2. Gráfico de los rangos de la frecuencia

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

Velocidad: Se establece una valoración de 1 a 3, tomando en cuenta la rapidez con la que puede transferirse la información. Si la velocidad es alta tendrá una valoración de 3, y si la velocidad es baja tendrá una valoración de 1. En la Tabla 4-2 se detalla la calificación cuantitativa, cualitativa y los rangos de la velocidad, además en la Figura 2-2 se ve gráficamente los datos de dicha tabla.

Tabla 4-2: Valoración al rango de velocidad

Velocidad		
Rango	Valoración Cuantitativa	Valoración Cualitativa
100 – 200 Mbps	1	Baja
200 – 300 Mbps	2	Media
Mayor o igual a 1 Gbps	3	Alta

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

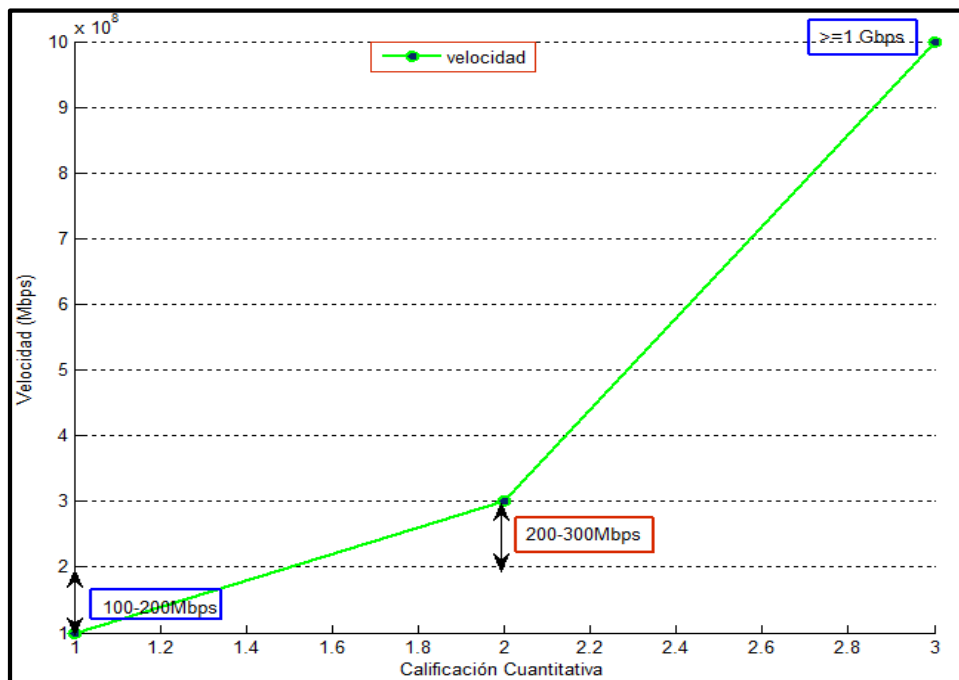


Figura 2-2. Gráfico de los rangos de la velocidad

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

Ancho de banda: Se proporciona una valoración de 1 a 3, tomando en cuenta que a mayor ancho de banda, mayor es la capacidad en el envío de información, por lo tanto tendrá un valor de 3 si el ancho de banda es mayor y 1 si es menor, en la Tabla 5-2 se encuentra la valoración cuantitativa, cualitativa y los rangos del ancho de banda. También en la Figura 3-2 se ve gráficamente esta información.

Tabla 5-2: Valoración al rango de ancho de banda

Ancho de banda		
Rango	Valoración Cuantitativa	Valoración Cualitativa
0 – 20 KHz	1	Menor
20 – 40 MHz	2	Medio
Mayor a 40 MHz	3	Mayor

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

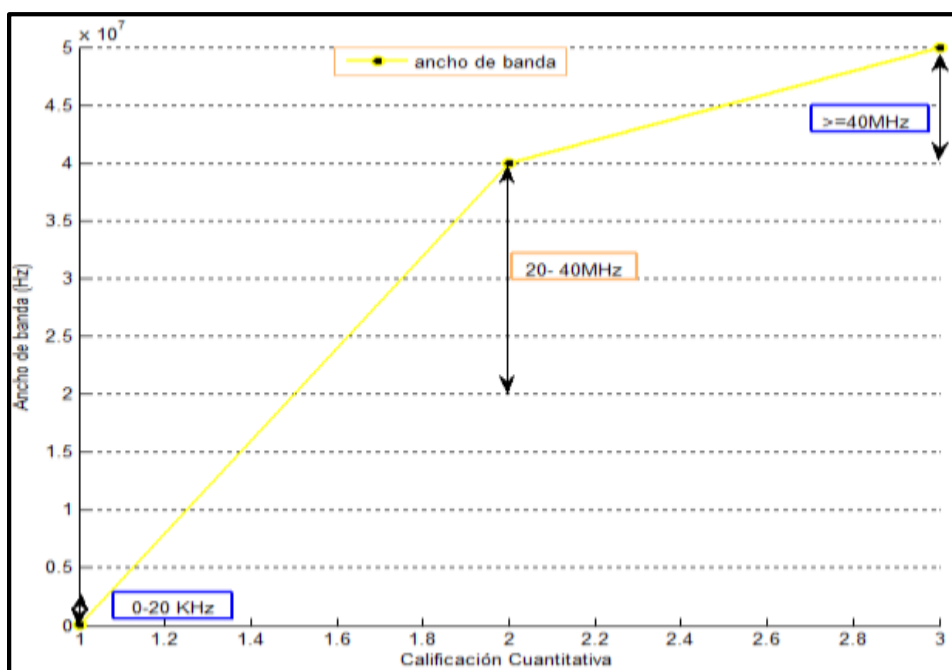


Figura 3-2. Gráfico de los rangos del ancho de banda

Realizado por: Deysi Tixi.2016

2.2.1.2. Calificación

Para realizar la calificación se basa en las tablas de valoración que contiene la información de los índices de transmisión y el rango de trabajo de cada uno de ellos.

Tabla 6-2: Calificación a los índices de transmisión

Transmisión		
Índice	Lifi	Wifi
Confiabilidad	1	3
Velocidad	3	2
Ancho de banda	3	2

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

Para determinar los porcentajes parciales (Pp) de los índices de transmisión de cada tecnología se utiliza las siguientes fórmulas:

Ecuación 4-2: Porcentaje parcial Lifi

$$Pp (L) = (Cn (L) / Vm) * 100\%$$

Ecuación 5-2: Porcentaje parcial Wifi

$$Pp (W) = (Cn (W) / Vm) * 100\%$$

Donde:

Cn (L)= Calificación parcial por parámetro en Lifi

Cn (W)= Calificación parcial por parámetro en Wifi

Vm = Valor máximo de índices es 9

L = Tecnología Lifi

W = Tecnología Wifi

Tabla 7-2: Valores finales de los índices y sus porcentajes

	Transmisión			
	Lifi		Wifi	
	Valor (L)	%Pp	Valor (W)	%Pp
Confiabilidad: C1	1	11,11	3	33,33
Velocidad: C2	3	33,33	2	22,22
Ancho de banda: C3	3	33,33	2	22,22

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

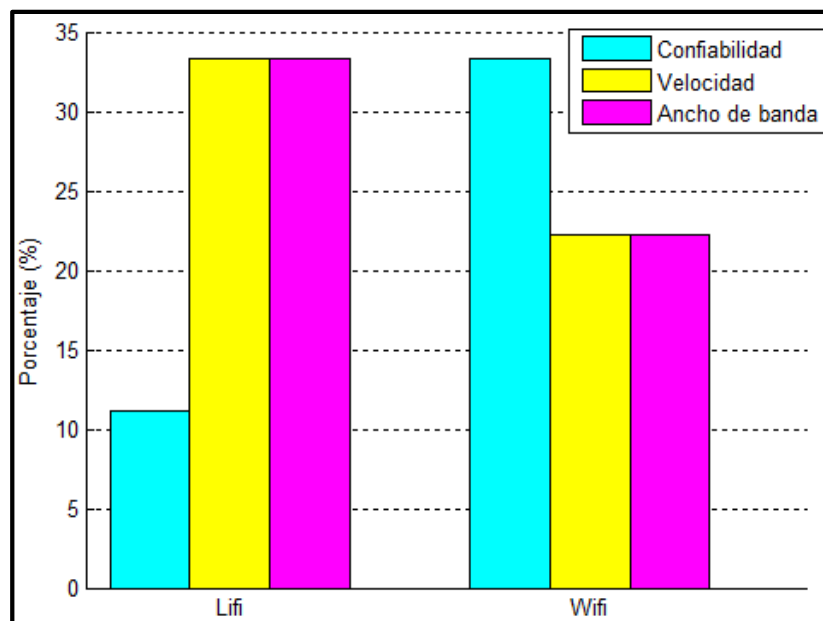


Figura 4-2. Gráfico de porcentajes de los índices de transmisión

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

En la figura 4-2 se interpreta que Lifi y Wifi alcanzan una misma puntuación, Lifi presenta muy baja confiabilidad de datos mientras que Wifi tiene alta confiabilidad, Lifi presenta alta velocidad mientras que Wifi una velocidad media, el ancho de banda en Lifi es mayor y en Wifi es medio. Para obtener el porcentaje final primero se realiza una sumatoria de las calificaciones de los índices, en la Ecuación 6-2 se muestra esta fórmula:

Ecuación 6-2: Sumatoria de índices

$$S(L) = \sum [C1(L) + C2(L) + C3(L)]$$

$$S(L) = 1 + 3 + 3$$

$$S(L) = 7$$

$$S(W) = \sum C1(W) + C2(W) + C3(W)$$

$$S(W) = 3 + 2 + 2$$

$$S(W) = 7$$

Para determinar el porcentaje final (**PT**) de cada tecnología se utiliza la siguiente fórmula:

Ecuación 7-2: Porcentaje total del parámetro de transmisión

$$PT(L) = (S(L)/V_m) * 100\%$$

$$PT(L) = (7/9) * 100\%$$

$$PT(L) = 77,77\%$$

$$PT(W) = (7/9) * 100\%$$

$$PT(W) = 77,77\%$$

Donde:

S(L)= Sumatoria de los índices en tecnología Lifi

S(W)= Sumatoria de los índices en tecnología Wifi

Tabla 8-2: Valores y porcentajes finales de transmisión

	Transmisión	
	S	% PT
Lifi (L)	7	77,77
Wifi (W)	7	77,77

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

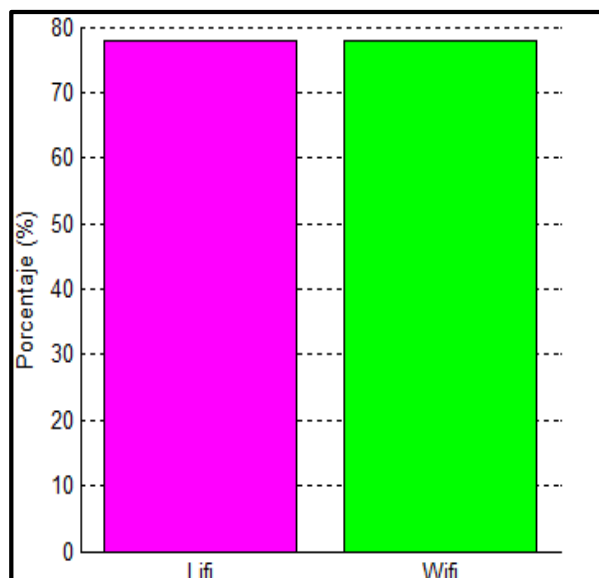


Figura 5-2. Gráfico de porcentajes de transmisión de Lifi y Wifi

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

2.2.1.3. Interpretación de resultados

Según los resultados expuestos en la Figura 5-2, se determina que los parámetros de transmisión en la tecnología Lifi son iguales en Wifi con el 77,77%, indicando de esta manera al usuario que las dos tecnologías permiten una transmisión eficiente al enviar información inalámbricamente.

2.2.2. Parámetro de Propagación

En la propagación se toma en cuenta los índices como alcance, velocidad de propagación y perjudicación para la salud. En la Tabla 9-2 se detalla los valores de las variables antes mencionadas de cada tecnología.

Tabla 9-2: Rango de trabajo de los índices de propagación

Propagación		
Índices	Lifi	Wifi
Alcance	10 m	100 m
Velocidad de propagación	3×10^8 m/s	3×10^8 m/s
Perjudicial a la salud	Alta	Baja

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

2.2.2.1. Valoración

Para realizar el análisis y determinar cuál de las tecnologías es mejor que la otra se realiza una valoración a cada índice estudiado dentro de la propagación, por lo tanto se basa en la ventaja que posee cada uno de los índices con respecto al otro de acuerdo al rango que este tenga dentro de su unidad de medida.

Alcance: Se proporciona una valoración de 1 a 3, tomando en cuenta el alcance en función de la distancia, el 1 será un valor menor y 3 mayor, se considera si tiene un alcance mayor o menor también en la Figura 6-2 se visualiza gráficamente estos datos.

Tabla 10-2: Valoración al rango de Alcance

Alcance		
Rango (m)	Valoración Cuantitativa	Valoración Cualitativa
0 – 10 m	1	Menor
11 – 20 m	2	Medio
Mayor a 20 m	3	Mayor

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

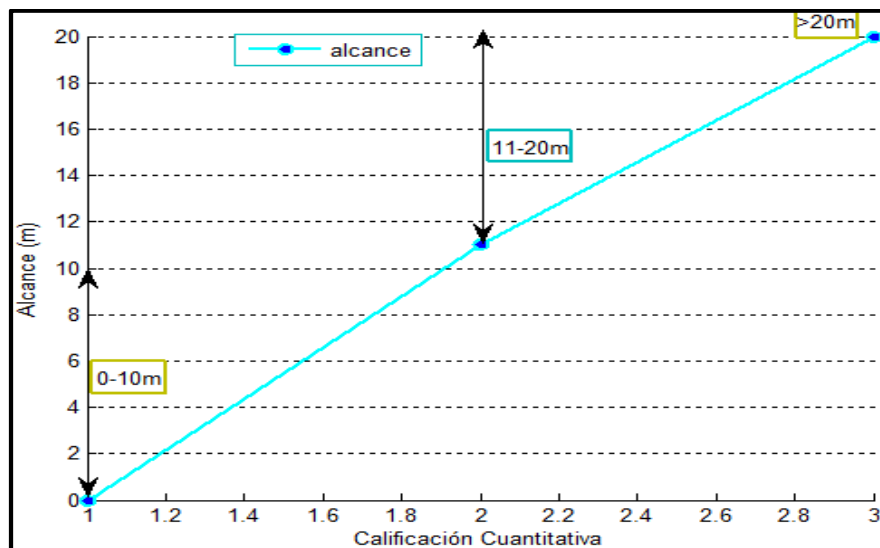


Figura 6-2. Gráfico de los rangos del alcance

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

Velocidad de propagación: Se establece una valoración de 1 a 2, tomando en cuenta la rapidez con la que se propaga en el espacio libre. Tendrá un valor de 2 si es media la velocidad y 1 si es baja. En la Ecuación 8-2 se ve que la velocidad de propagación es igual en Lifi y en Wifi.

Ecuación 8-2: Velocidad de propagación (v)

$v = \text{velocidad de la luz (v)} * \text{longitud de onda } (\lambda)$

Lifi

$$(v) = 385 \times 10^{12} \text{ 1/s} * 780\text{nm} = 300300000 = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$(v) = 789 \times 10^{12} \text{ 1/s} * 380\text{nm} = 299820000 = 2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Wifi

$$v = 2,4 \times 10^9 \text{ 1/s} * 125\text{mm} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$v = 5 \times 10^9 \text{ 1/s} * 60\text{mm} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Tabla 11-2: Valoración a la velocidad de propagación

Rango (m/s)	Valoración Cuantitativa	Valoración Cualitativa
$0 - 2 \times 10^8$	1	Baja
$2 \times 10^8 - 4 \times 10^8$	2	Media

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

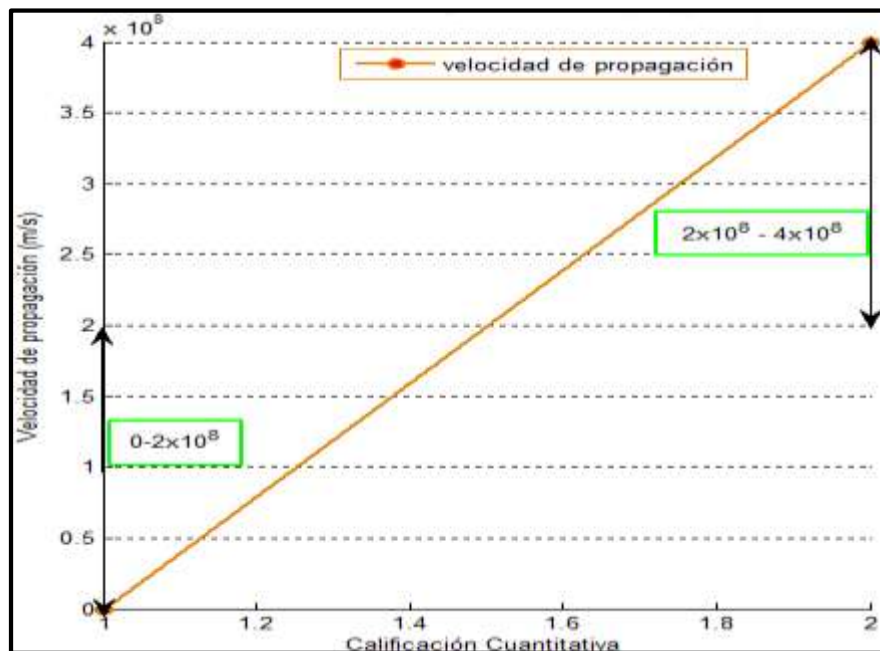


Figura 7-2. Gráfico de la velocidad de propagación

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

Perjudicial a la salud: Se proporciona una valoración de 1 a 3, tomando en cuenta que si la emisión de ondas de luz y ondas wifi son perjudiciales para la salud de las personas, por tanto se proporciona una valoración de 1 si la afectación es alta en cambio un valor de 3 si la afectación es baja para la salud de las personas. En la Figura 8-2 se visualiza los datos que se encuentran en la Tabla 12-2.

Tabla 12-2: Valoración para la perjudicación a la salud

Valoración Cuantitativa	Valoración Cualitativa
3	Baja
2	Media
1	Alta

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

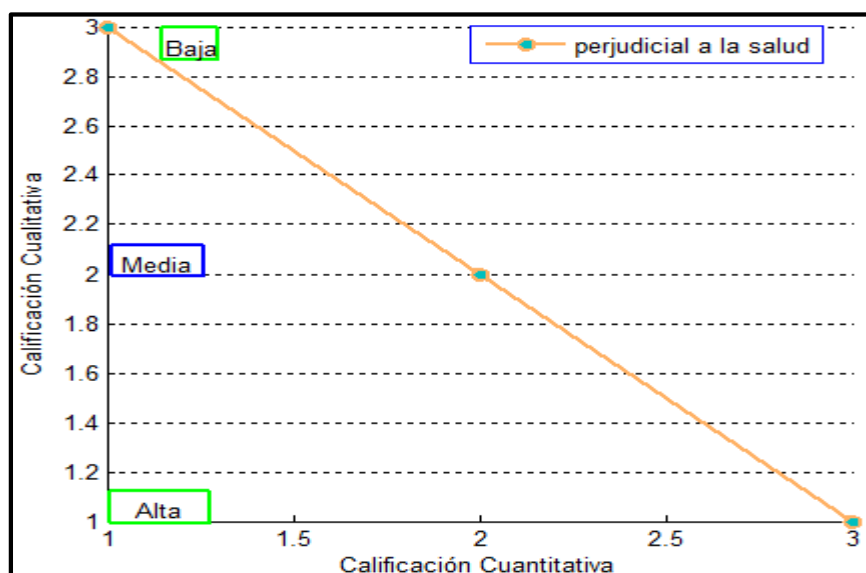


Figura 8-2. Gráfico de la perjudicación a la salud

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

2.2.2.2. Calificación

Para realizar la calificación se basó en las tablas de valoración, las mismas que contienen la información de los índices de propagación y el rango de trabajo de cada uno de ellos.

Tabla 13-2: Calificación a los índices de propagación.

Propagación		
Índice	Lifi	Wifi
Alcance	1	3
Velocidad de propagación	2	2
Perjudicial a la salud	1	3

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

Para determinar los porcentajes parciales (Pp) de los índices de propagación de cada tecnología se utiliza las siguientes fórmulas:

$$Pp (L)= (Cn (L)/Vm)*100\%$$

$$Pp (W)= (Cn (W)/Vm)*100\%$$

Donde:

Cn (L)= Calificación parcial por parámetro en Lifi

Cn (W)= Calificación parcial por parámetro en Wifi

Vm = Valor máximo de índices es 8

L = Tecnología Lifi

W = Tecnología Wifi

Tabla 14-2: Valores de los índices y porcentajes parciales de propagación

	Propagación			
	Lifi		Wifi	
	Valor (L)	%Pp	Valor (W)	%Pp
Alcance: C1	1	12,50	3	37,50
Vel. propagación: C2	2	25,00	2	25,00
Perjudicial a la salud: C3	1	12,50	3	37,50

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

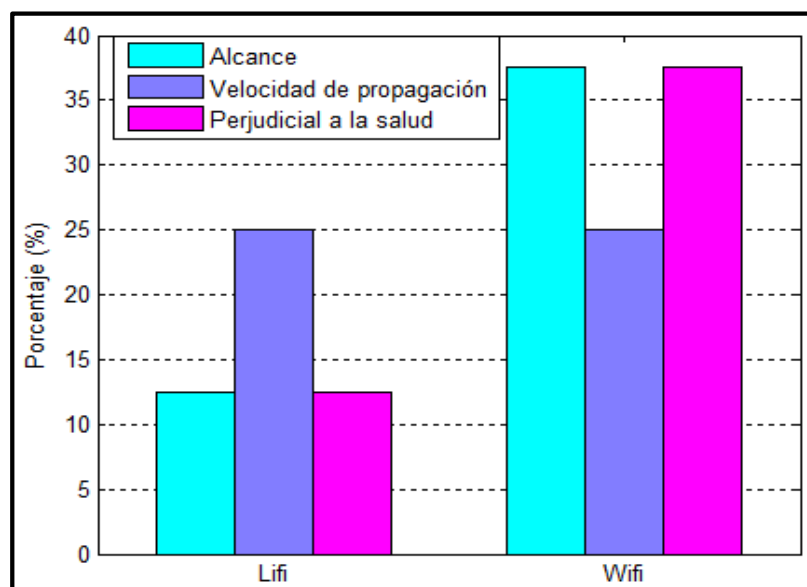


Figura 9-2. Gráfico de los porcentajes de los índices de propagación

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

De acuerdo a los índices de propagación se toma en cuenta el alcance, la velocidad de propagación y la perjudicación a la salud, se observa en la Figura 9-2 los resultados obtenidos, dando ventaja a Wifi ya que presenta mayor alcance y la afectación a la salud de las personas es baja ya que a

veces solo puede tener dolores de cabeza según estudios de la Health Agency Protection (HPA) de Britania. En cambio en Lifi presenta menor alcance y tiene perjudicación alta para las personas, según estudios realizados en la Universidad de Cambridge han demostrado que por utilizar diodos led para la tranmisión estos perjudican a la piel y a los ojos. La velocidad de propagación es igual en las dos tecnologías.

A continuación la sumatoria de las calificaciones de los índices

$$S(L) = \sum [C1(L) + C2(L) + C3(L)]$$

$$S(L) = 1 + 2 + 1$$

$$S(L) = 4$$

$$S(W) = \sum [C1(W) + C2(W) + C3(W)]$$

$$S(W) = 3 + 2 + 3$$

$$S(W) = 8$$

Para determinar el porcentaje final (PT) de cada tecnología se utiliza la siguiente fórmula:

$$PT(L) = (S(L)/V_m) * 100\%$$

$$PT(L) = (4/8) * 100\%$$

$$PT(L) = 50\%$$

$$PT(W) = (S(W)/V_m) * 100\%$$

$$PT(W) = (8/8) * 100\%$$

$$PT(W) = 100\%$$

Donde:

S(L)= Sumatoria de los índices en tecnología Lifi

S(W)= Sumatoria de los índices en tecnología Wifi

Tabla 15-2: Valores y porcentajes finales de propagación

	Propagación	
	S	% PT
Lifi (L)	4	50
Wifi (W)	8	100

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

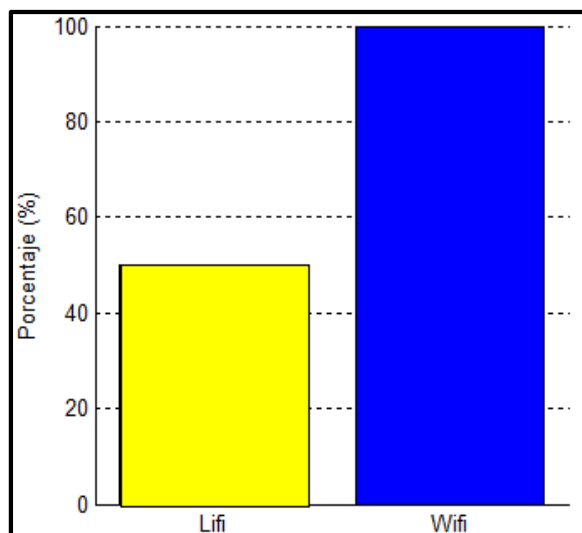


Figura 10-2. Gráfico de porcentajes de propagación en Lifi y Wifi

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

2.2.2.3. Interpretación de resultados

Según los resultados expuestos en la Figura 10-2, se determina que los parámetros de propagación en la tecnología Wifi, lleva una ventaja del 50 % en relación a los parámetros de propagación en la tecnología Lifi, indicando de esta manera al usuario que su propagación es muy eficiente. Este análisis refleja cuál de las tecnologías proporciona mayor alcance y menos efectos perjudiciales para la salud de las personas, esto servirá finalmente para determinar su rendimiento.

2.2.3. Parámetro de Atenuación

En la atenuación se toma en cuenta los índices como distancia y grado de atenuación por obstáculos. Ver Tabla 16-2, en esta tabla se encuentra los valores de los índices antes mencionadas.

Tabla 16-2: Índices de la atenuación en Lifi y Wifi

Parámetro de atenuación		
Índice	Lifi	Wifi
Distancia	10m	100m
Grado de atenuación por obstáculos	Ninguno	3dB

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

2.2.3.1. Valoración

Para realizar el análisis y determinar cuál de las tecnologías es mejor que la otra se realiza una valoración a cada índice, por lo tanto se basa en la ventaja que posee cada uno de los índices con respecto al otro de acuerdo al rango que este tenga dentro de su unidad de medida.

Pérdida de la señal: Se establece una valoración de 1 a 3, se considera en función de la distancia, tomando en cuenta que a menor distancia tendrá una pérdida de señal baja, dando un valor de 3. Ver Tabla 17-2, en esta tabla se encuentra los rangos de la distancia, la calificación cuantitativa y cualitativa. En la figura 11-2 se observa gráficamente estos datos.

Tabla 17-2: Valoración para la pérdida de la señal en función de la distancia

Pérdida de la señal		
Rango de la distancia	Valoración Cuantitativa	Valoración Cualitativa
0 – 5 m	3	Baja
6 - 10 m	2	Media
Mayor a 10 m	1	Alta

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

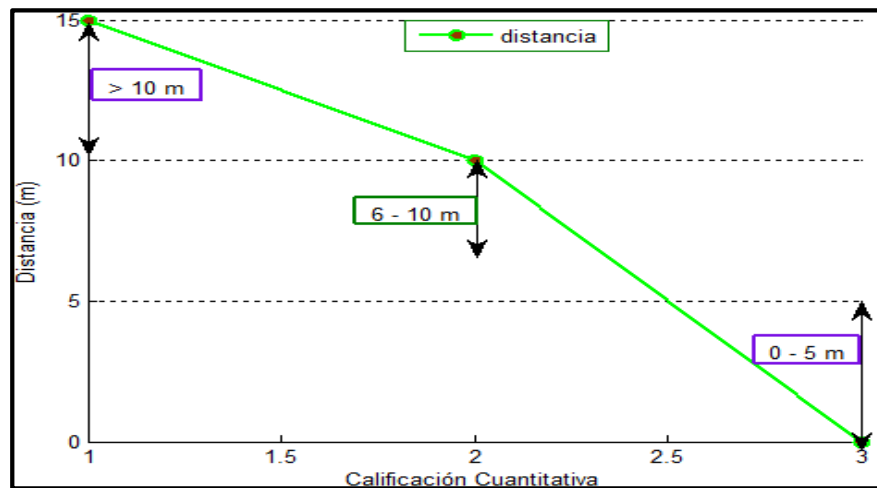


Figura 11-2. Gráfico de los rangos de la distancia

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

Grado de atenuación por obstáculos: Se proporciona una valoración de 1 a 3, tomando en cuenta que a menor atenuación se recibirá mejor la información. Se establece un valor de 2 si presenta 0 dB, es decir la atenuación es baja, y un 1 si la atenuación es media. En la Tabla 18-2 se encuentra los rangos de la atenuación, la calificación cuantitativa y cualitativa de este índice.

Tabla 18-2: Valoración al rango del grado de atenuación por obstáculos

Grado de atenuación por obstáculos		
Rango de la atenuación	Valoración Cuantitativa	Valoración Cualitativa
0 dB	2	Baja
Mayor o igual 3dB	1	Media

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

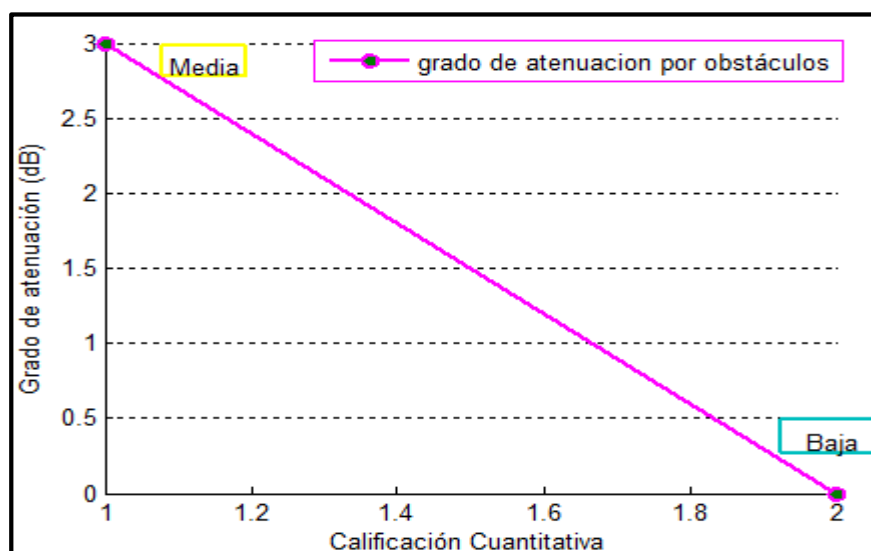


Figura 12-2. Gráfico de los rangos de la atenuación

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

2.2.3.2. Calificación

Para realizar la calificación se basa en las tablas de valoración que contiene la información de los índices de atenuación y el rango de trabajo de cada uno de ellos.

Tabla 19-2: Calificación a los índices de atenuación

Atenuación		
Índice	Lifi	Wifi
Pérdida de la señal	2	1
Grado de atenuación por obstáculos	2	1

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

Para determinar los porcentajes parciales (Pp) de los índices de atenuación de cada tecnología se utiliza las siguientes fórmulas:

Porcentaje parcial Lifi

$$Pp(L) = (Cn(L)/Vm) * 100\%$$

Porcentaje parcial Wifi

$$Pp(W) = (Cn(W)/Vm) * 100\%$$

Donde:

Cn(L) = Calificación parcial por parámetro en L

Cn(W) = Calificación parcial por parámetro en Wifi

Vm = Valor máximo de índices es 4

L = Tecnología Lifi

W = Tecnología Wifi

Tabla 20-2: Valores finales de los índices y sus porcentajes

	Atenuación			
	Lifi		Wifi	
	Valor (L)	%Pp	Valor (W)	%Pp
Pérdida de la señal: C1	2	50	1	25
Grado de atenuación por obstáculos: C2	2	50	1	25

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

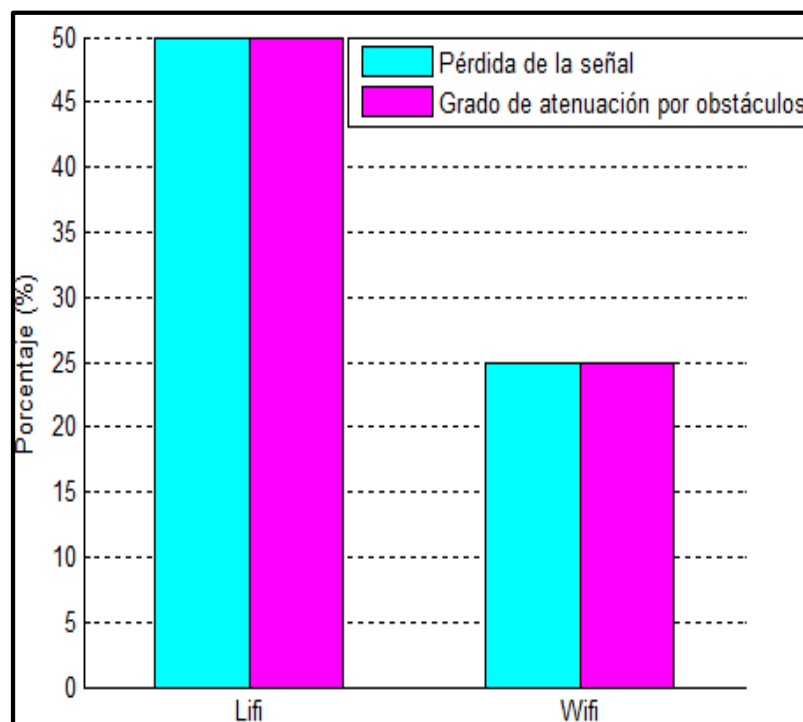


Figura 13-2. Gráfico de porcentajes de los índices de atenuación

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

En la Figura 13-2 se interpreta que Lifi presenta gran ventaja ya que al tener una cobertura de hasta 10m presenta menor atenuación, y también al no tener ningún grado de atenuación debido a obstáculos transmitirá eficientemente la información, en cambio Wifi no transmitirá eficientemente la información debido a que alcanza una cobertura de hasta 100m y hay pérdida de potencia al alcanzar esta distancia, además como traspasa paredes también pierde potencia.

$$S(L) = \sum [C1(L) + C2(L)]$$

$$S(L) = 2 + 2$$

$$S(L) = 4$$

$$S(W) = \sum [C1(W) + C2(W)]$$

$$S(W) = 1 + 1$$

$$S(W) = 2$$

Para determinar el porcentaje final (**PT**) de cada tecnología se utiliza la siguiente fórmula:

$$PT(L) = (S(L)/Vm) * 100\%$$

$$PT(L) = (4/4) * 100\%$$

$$PT(L) = 100\%$$

$$PT(W) = (2/4) * 100\%$$

$$PT(W) = 50\%$$

Donde:

S(L)= Sumatoria de los índices en tecnología Lifi

S(W)= Sumatoria de los índices en tecnología Wifi

Tabla 21-2: Valores y porcentajes finales de atenuación

	Atenuación	
	S	% PT
Lifi (L)	4	100
Wifi (W)	2	50%

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

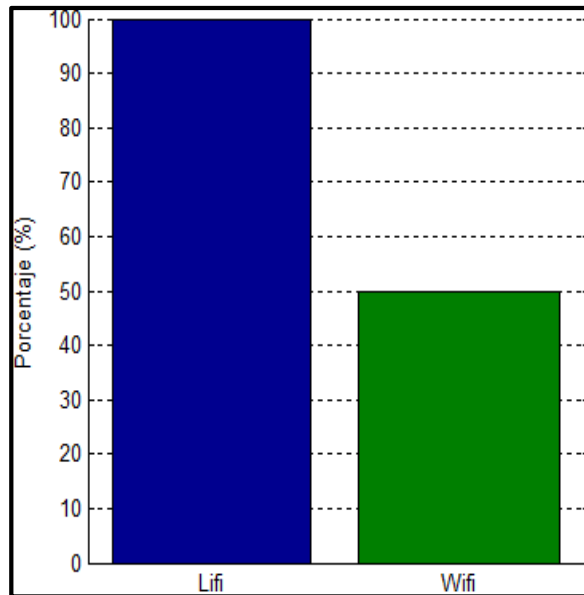


Figura 14-2. Gráfico de porcentajes de atenuación de Lifi y Wifi

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

2.2.3.3. Interpretación de resultados

Según los resultados expuestos en la Figura 14-2, se puede determinar que la atenuación en la tecnología Lifi, lleva una ventaja del 50 % en relación a los índices de atenuación en la tecnología Wifi, indicando de esta manera al usuario que, la atenuación es muy importante en las comunicaciones inalámbricas porque a menor atenuación mejor será la señal recibida.

2.2.4. Parámetro de Dispersión

En la dispersión se toma en cuenta los índices: índice de refracción y longitud de onda. Ver la Tabla 22-2, en la cual se encuentran estos datos.

Tabla 22-2: Índices del parámetro de dispersión en Lifi y Wifi

Parámetro de dispersión		
Índice	Lifi	Wifi
Índice de refracción	1	1
Longitud de onda	(380-780)nm	(60-125)mm

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

2.2.4.1. Valoración

Para realizar el análisis y determinar cuál de las tecnologías es mejor que la otra se realiza una valoración a cada índice, por lo tanto se basa en la ventaja que posee cada uno de los índices.

Índice de refracción: Se expone una valoración de 1 y 2, el valor de 1 será para el índice de refracción alto porque a mayor índice la dispersión es media, en cambio si el índice de refracción es bajo la dispersión es baja y tendrá un valor de 2, este representa la relación de la velocidad de propagación de un rayo de luz en el espacio libre, entre la velocidad de propagación del rayo en determinado material (Wayne, 2003, p. 430). Ver Tabla 23-2.

Tabla 23-2: Valoración para el índice de refracción

Rango del índice	Valoración Cuantitativa	Valoración Cualitativa
1 – 1.46	2	Baja
1.5 – 3.6	1	Media

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

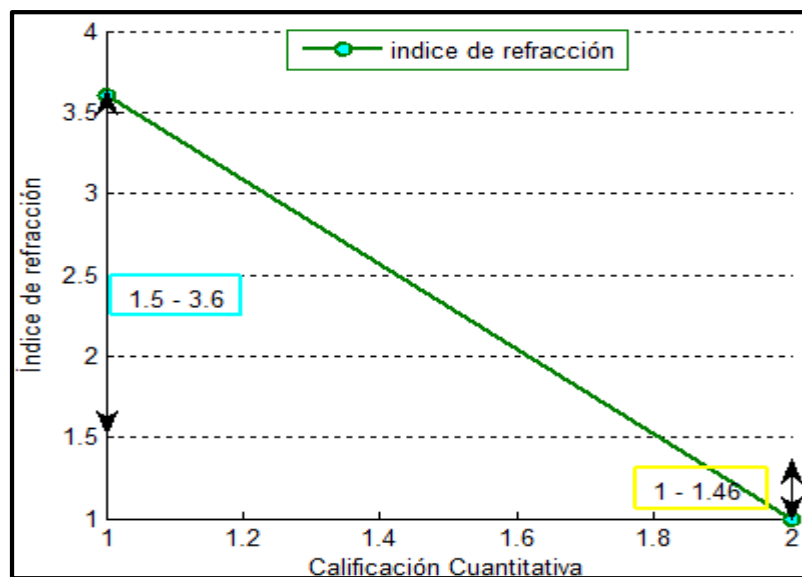


Figura 15-2. Gráfico del índice de refracción

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

Longitud de onda: Se da una valoración de 1 a 3, tomando en cuenta que a mayor longitud de onda se desvía menos la onda de información y toma el valor de 2 y a menor longitud de onda se desvía más, por lo tanto se establece una valoración de 1 (Wayne, 2003, p. 431). Ver Tabla 24-2.

Tabla 24-2: Valoración al rango de longitud de onda

Longitud de onda		
Rango	Valoración Cuantitativa	Valoración Cualitativa
60-125 mm	3	Baja
100-500 um	2	Media
380-780 nm	1	Alta

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

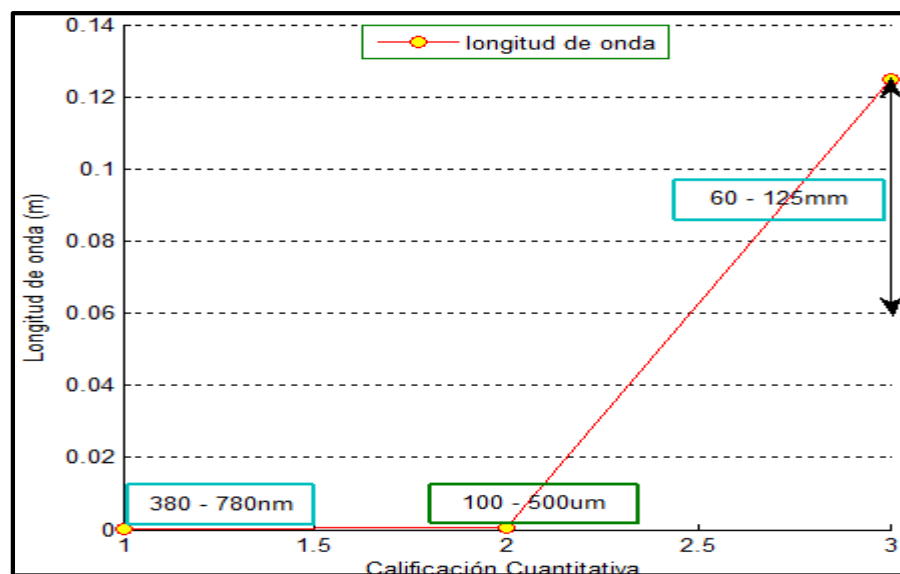


Figura 16-2. Gráfico de los rangos de la longitud de onda

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

2.2.4.2. Calificación

Para realizar la calificación se basó en las tablas de valoración de los índices de dispersión y el rango de trabajo de cada uno de ellos. Ver Tabla 25-2.

Tabla 25-2: Calificación a los índices de dispersión

Dispersión		
Índice	Lifi	Wifi
Índice de refracción	2	2
Longitud de onda	1	3

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

Para determinar los porcentajes parciales (Pp) de los índices de dispersión de cada tecnología se utiliza las siguientes fórmulas:

Porcentaje parcial Lifi

$$Pp(L) = (Cn(L)/Vm) * 100\%$$

Porcentaje parcial Wifi

$$Pp(W) = (Cn(W)/Vm) * 100\%$$

Donde:

Cn(L)= Calificación parcial por parámetro en Lifi

Cn(W)= Calificación parcial por parámetro en Wifi

Vm = Valor máximo de índices es 5

L = Tecnología Lifi

W = Tecnología Wifi

Tabla 26-2: Valores finales de los índices y sus porcentajes

	Dispersión			
	Lifi		Wifi	
	Valor (L)	%Pp	Valor (W)	%Pp
Índice de refracción: C1	2	40	2	40
Longitud de onda: C2	1	20	3	60

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

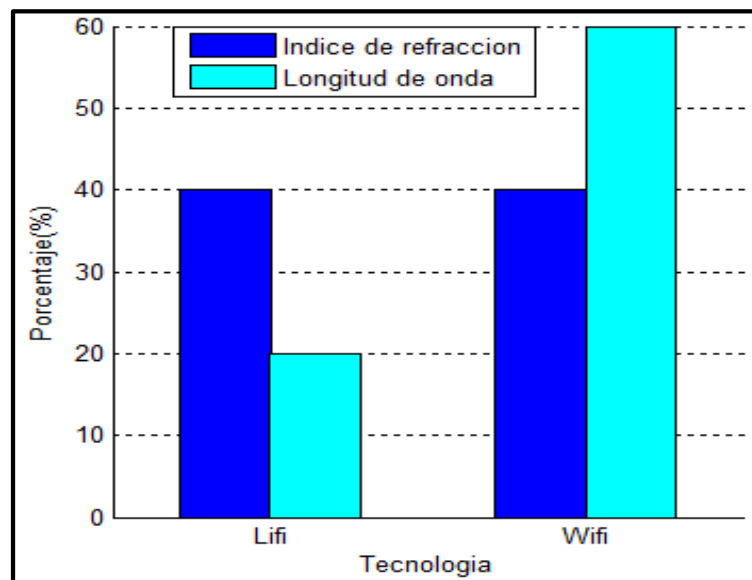


Figura 17-2. Gráfico de porcentajes de los índices de dispersión

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

En la Figura 17-2 se interpreta que Wifi presenta una ventaja en relación a Lifi ya que presenta menor dispersión de información al tener mayor longitud de onda, por lo que esto es muy importante al transmitir información, las dos tecnologías presentan igual índice de refracción porque transmiten la información inalámbricamente.

Sumatoria de la calificación de los índices:

$$S(L) = \sum [C1(L) + C2(L)]$$

$$S(L) = 2 + 1$$

$$S(L) = 3$$

$$S(W) = \sum C1(W) + C2(W)$$

$$S(W) = 3 + 2$$

$$S(W) = 5$$

Para determinar el porcentaje final (PT) de cada tecnología se utiliza la siguiente fórmula:

$$PT(L) = (S(L)/V_m) * 100\%$$

$$PT(L) = (3/5) * 100\%$$

$$PT(L) = 60\%$$

$$PT(W) = (5/5) * 100\%$$

$$PT(W) = 100\%$$

Donde:

S(L) = Sumatoria de los índices en tecnología Lifi

S(W) = Sumatoria de los índices en tecnología Wifi

Tabla 27-2: Valores y porcentajes finales de dispersión

	Dispersión	
	S	% PT
Lifi (L)	3	60
Wifi (W)	5	100

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

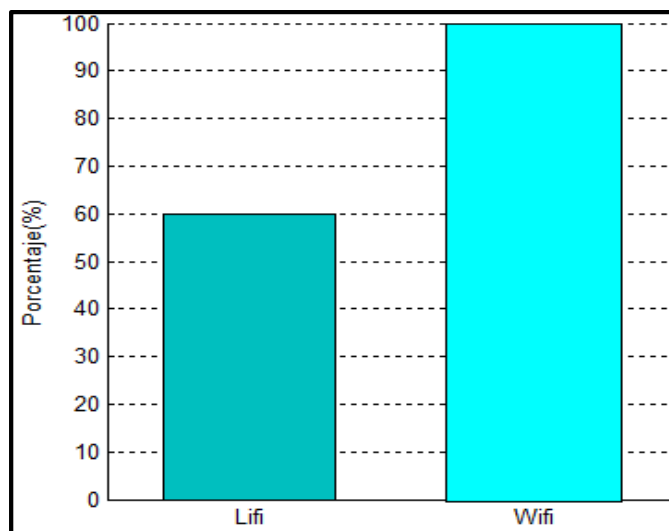


Figura 18-2. Gráfico de porcentajes de dispersión de Lifi y Wifi

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

2.2.4.3. Interpretación de resultados

Según los resultados expuestos en la Figura 18-2, se determina que los parámetros de dispersión en la tecnología Wifi, lleva una ventaja del 40 % en relación a los parámetros de dispersión en la tecnología Lifi, indicando al usuario que la dispersión es menor en esta tecnología, y por ende es mejor en rendimiento.

2.2.5. Parámetro de Modulación

En la modulación se toma en cuenta los índices como data rate y el FEC. Ver Tabla 28-2.

Tabla 28-2: Modulación en 802.11n y 802.15.7

Wifi (802.11n)	Lifi (802.15.7)
OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales),(BPK,QPSK,16-QAM, 64-QAM)	OOK (ON-OFF-KEYING)
DSSS (Espectro Ensanchado por Secuencia Directa) por compatibilidad con IEEE 802.11 b	VPPM (Pulso Variable Position Modulation)
	CSK (Modulación por desplazamiento de color), 4-CSK, 8-CSK, 16-CSK

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

Tabla 29-2: Modulaciones en Wifi (802.11n)

Modulación	Data rate	FEC
OFDM	6 - 48 Mbps	Convolucional, Reed Solomon
DSSS	1 – 2 Mbps	Pseudorruído

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

Tabla 30-2: Modulaciones en Lifi (802.15.7)

Modulación	Data rate	FEC
OOK	11,67 -100Kbps 6 - 96 Mbps	Convolucional, Reed Solomon
VPPM	35,56-266,6 Kbps 1,25- 5 Mbps	Convolucional, Reed Solomon
CSK	12-96 Mbps	Reed Solomon

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

Para establecer el rango de operación de las modulaciones se tomará en cuenta a la modulación que tiene mayor data rate (tasa de transferencia de datos) ya que proporciona un buen rendimiento, en el caso de Lifi se tomará a la modulación CSK, y con respecto a Wifi se usará OFDM.

Tabla 31-2: Índice del parámetro de modulación en Lifi y Wifi

Parámetro de modulación		
Índice	Lifi	Wifi
Data rate	12 - 96 Mbps	6 - 48 Mbps
FEC	Reed Solomon	Convolucional, Reed Solomon

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

2.2.5.1. Valoración

Para realizar el análisis y determinar cuál de las tecnologías es mejor que la otra se realiza una valoración a cada índice estudiado, por lo tanto se basa en la ventaja que posee cada uno de los índices con respecto al otro de acuerdo al rango que tenga dentro de su unidad de medida.

Data rate: Se establece una valoración de 1 y 2, teniendo en cuenta que a mayor tasa de transferencia de datos se enviará rápido la información, este tomará un valor de 2 y 1 para la modulación con menor data rate.

Tabla 32-2: Valoración para el Data rate

Data rate		
Rango	Valoración Cuantitativa	Valoración Cualitativa
6 - 48 Mbps	1	Bajo
12 - 96 Mbps	2	Medio

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

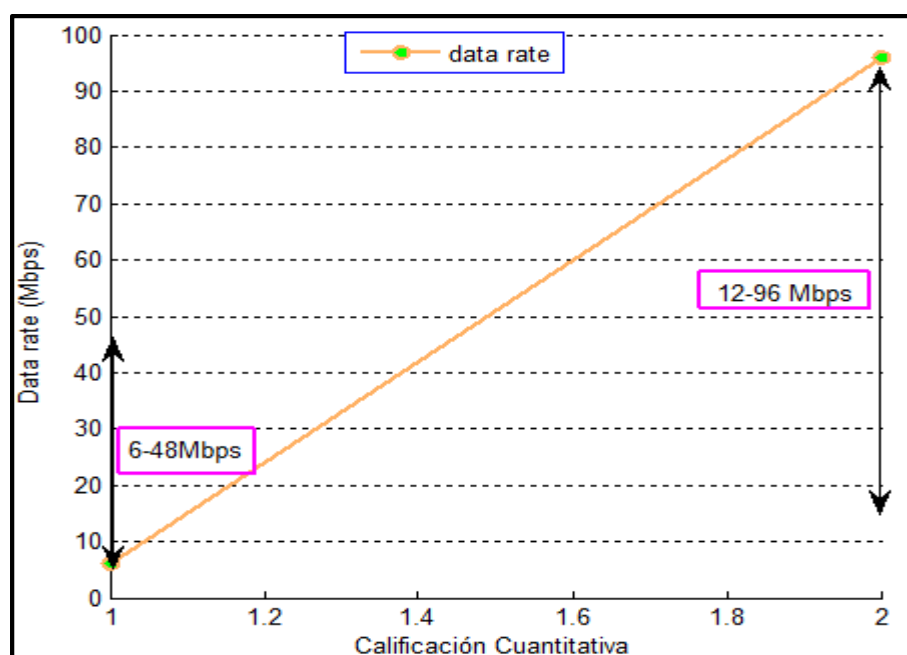


Figura 19-2. Gráfico de los rangos del data rate

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

FEC: Se establece una valoración de 1 y 2, tomando en cuenta el tipo de codificación para la corrección de errores, estos códigos sirven para recuperar datos alterados en el receptor y para ello utilizan bits adicionales, FEC reduce el número de transmisiones con errores, así como los requisitos de potencia de los sistemas de comunicación e incrementa la efectividad de los mismos evitando la necesidad del reenvío de los mensajes dañados durante la transmisión. Se establece una valoración de 2 si utilizan de dos a tres tipos de corrección de errores y 1 si utiliza solo un tipo de corrección de errores.

Tabla 33-2: Valoración cualitativa y cuantitativa al FEC

Número de FEC	Valoración Cuantitativa	Valoración Cualitativa
1	1	Bajo
Mayor o igual a 2	2	Medio

Realizado por: Deysi Tixi

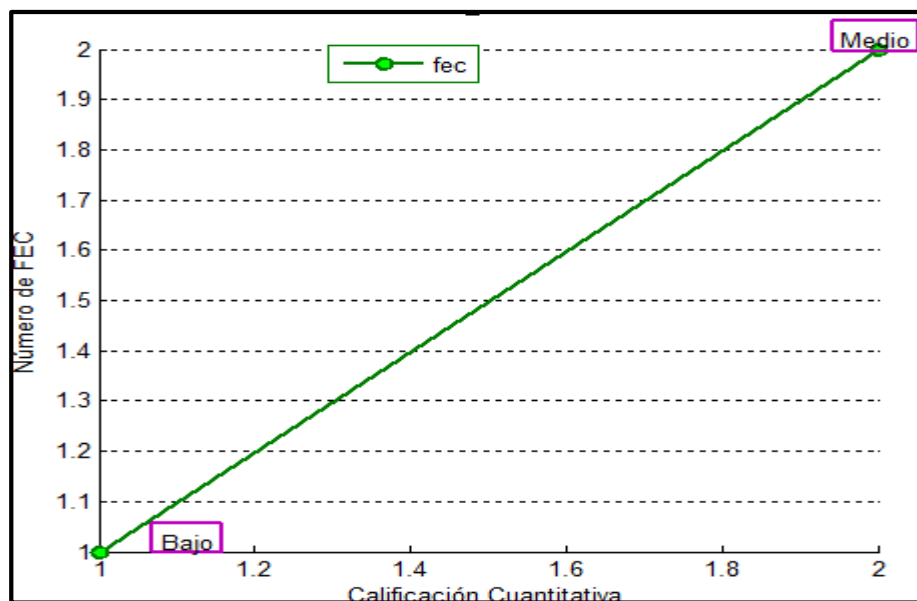


Figura 20-2. Gráfico del FEC

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

2.2.5.2. Calificación

Para realizar la calificación se basó en las tablas de valoración que contiene la información de los índices de modulación y la valoración cualitativa y cuantitativa. Ver Tabla 34-2.

Tabla 34-2: Calificación a los índices de modulación

Modulación		
Índices	Lifi	Wifi
Data rate	2	1
FEC	1	2

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

Para determinar los porcentajes parciales (Pp) de los índices de modulación de cada tecnología se utiliza las siguientes fórmulas:

Porcentaje parcial Lifi

$$Pp(L) = (Cn(L)/Vm) * 100\%$$

Porcentaje parcial Wifi

$$Pp(W) = (Cn(W)/Vm) * 100\%$$

Donde:

Cn (L)= Valor parcial por parámetro en Lifi

Cn (W)= Valor parcial por parámetro en Wifi

Vm = Valor máximo de índices es 4

L = Tecnologia Lifi

W = Tecnologia Wifi

Tabla 35-2: Valores finales de los índices y sus porcentajes

	Modulación			
	Lifi		Wifi	
	Valor (L)	%Pp	Valor (W)	%Pp
Data rate: C1	2	50	1	25
FEC: C2	1	25	2	50

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

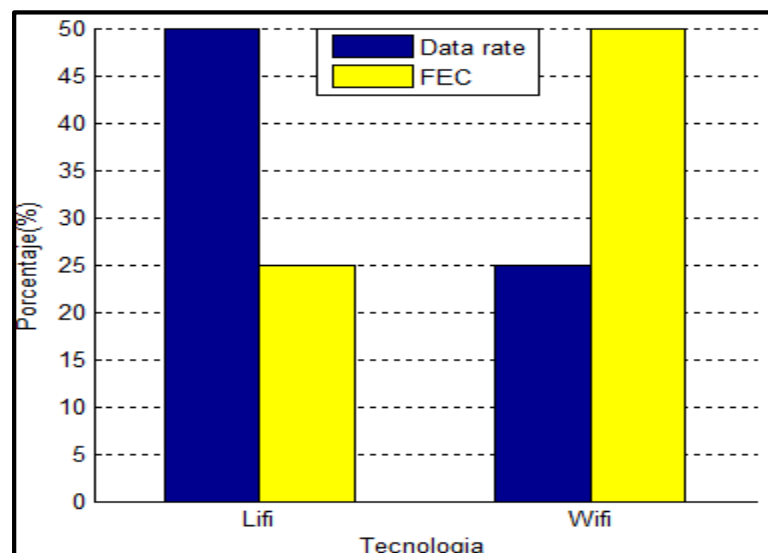


Figura 21-2. Gráfico de porcentajes de los índices de modulación

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

En la Figura 21-2 se interpreta que Lifi presenta igual porcentaje de modulación que en Wifi, Lifi tiene mayor data rate pero utiliza una sola codificación, en cambio Wifi presenta menor data rate pero posee mayor protección de corrección de errores ya que enviará información con menos errores al utilizar dos tipos de corrección de errores.

Sumatoria de índices:

$$S (L) = \sum [C1 (L) + C2 (L)]$$

$$S (L) = 1 + 2$$

$$S (L) = 3$$

$$S(W) = \sum [C1(W) + C2(W)]$$

$$S(W) = 2 + 1$$

$$S(W) = 3$$

Para determinar el porcentaje final (**PT**) de cada tecnología se utiliza la siguiente fórmula:

$$PT(L) = (S(L)/V_m) * 100\%$$

$$PT(L) = (3/4) * 100\%$$

$$PT(L) = 75\%$$

$$PT(W) = (3/4) * 100\%$$

$$PT(W) = 75\%$$

Donde:

S(L)= Valor total de los índices en tecnología Lifi

S(W)= Valor total de los índices en tecnología Wifi

Tabla 36-2: Valores y porcentajes finales de modulación

	Modulación	
	S	% PT
Lifi (L)	3	75
Wifi (W)	3	75

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

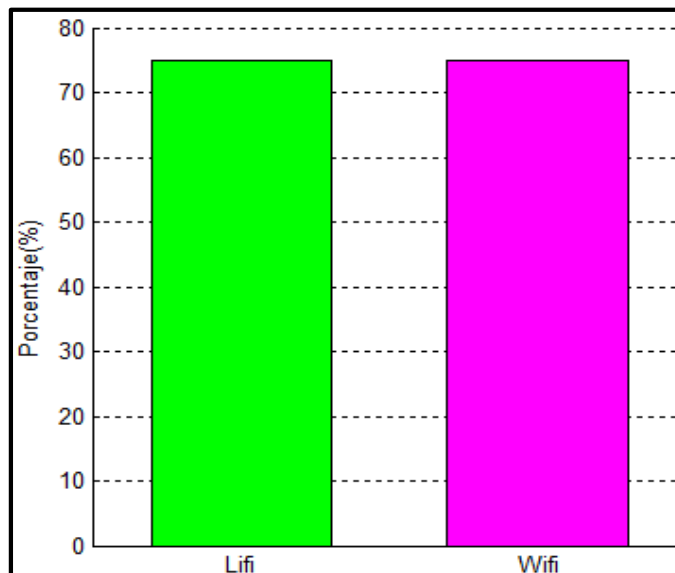


Figura 22-2. Gráfico de porcentajes de modulación de Lifi y Wifi

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

2.2.5.3. Interpretación de resultados

Según los resultados expuestos en la Figura 22-2, se puede determinar que los parámetros de modulación son iguales en las dos tecnologías, representados con un 75%, cada una presenta sus ventajas y desventajas y por ende ninguna tecnología lleva ventaja en relación a la otra.

CAPITULO III

MARCO DE RESULTADOS

3.1. Metodología de Resultados

3.1.1. Análisis FODA de la tecnología Lifi (802.15.7) y Wifi (802.11n)

Este análisis se realizó de las dos tecnologías independientemente, ya que a partir de este análisis se indica las Fortalezas y Oportunidades que las tecnologías presentan en el mercado, además las Debilidades que poseen ya que sirven para la toma de decisiones al momento de implementar la tecnología, y las Amenazas que les afectan.

3.1.1.1. FODA Lifi (802.15.7)

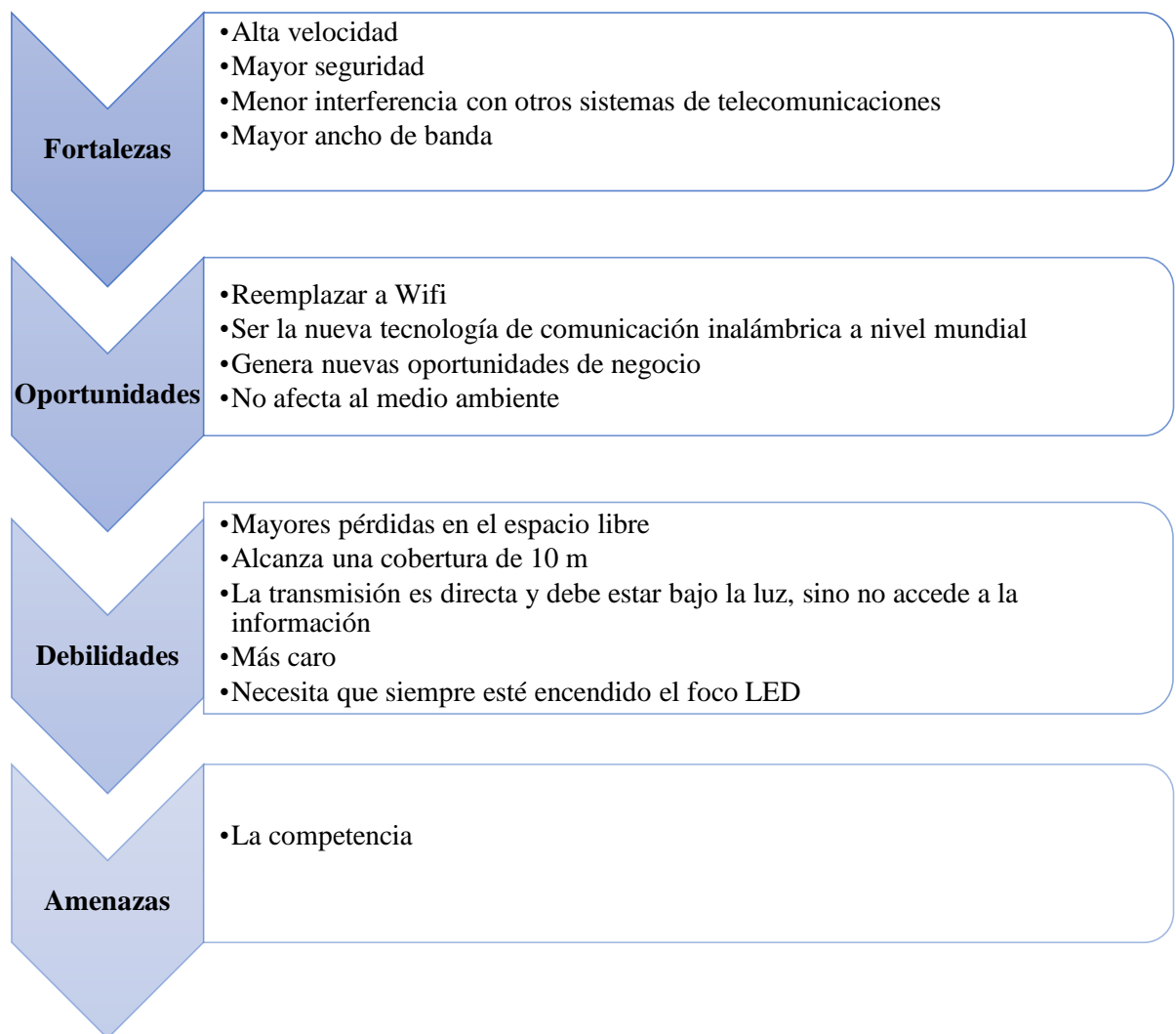


Figura 1-3. Análisis FODA Lifi (802.15.7)

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

3.1.1.2. FODA Wifi (802.11n)

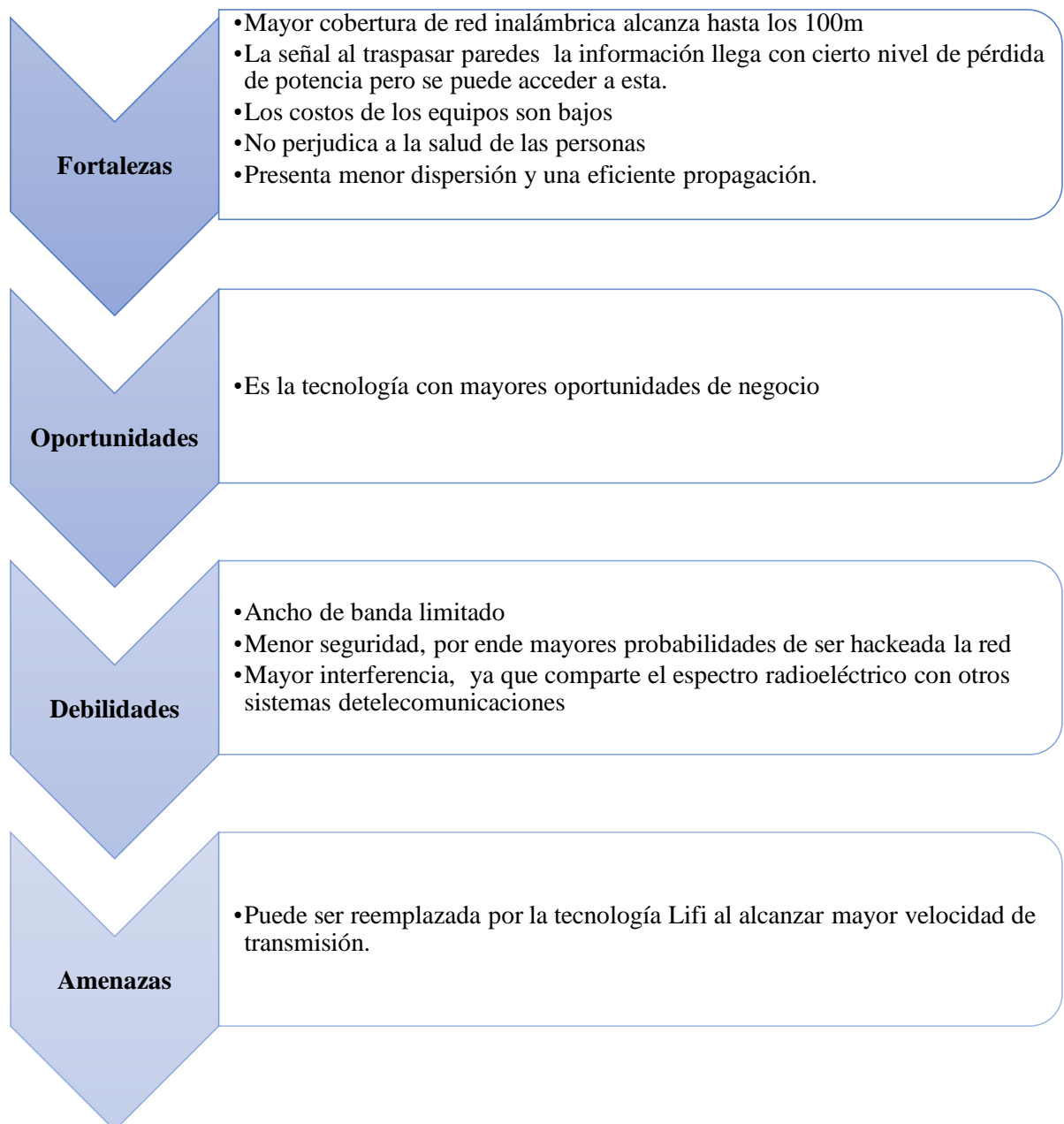


Figura 2-3. Análisis FODA Wifi (802.11n)

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

3.1.2. Parámetros de transmisión, propagación, atenuación, dispersión y modulación

3.1.2.1. Descripción de Resultados

Luego de realizar el análisis de los parámetros de transmisión, propagación, atenuación, dispersión y modulación en la tecnología Lifi y Wifi se tiene como resultado que en la transmisión las dos tecnologías alcanzan el mismo puntaje debido a que Lifi presenta menor confiabilidad, en cambio en Wifi la confiabilidad es alta, la velocidad en Lifi es alta, en cambio en Wifi una velocidad media, de igual manera el ancho de banda es mayor en Lifi , pero en Wifi tiene un ancho de medio, al tomar en cuenta la propagación, Wifi lleva una ventaja en relación a Lifi porque ofrece una cobertura de 100m, y tiene baja afectación a la salud de las personas.

En la atenuación lleva una ventaja Lifi a Wifi, porque permite una transmisión directa y no hay obstáculos que permitan que la señal llegue atenuada en cambio Wifi si tiene un cierto grado de atenuación ya que si traspasa obstáculos. En la dispersión Wifi es superior que Lifi ya que al presentar mayor longitud de onda se desvían menos las ondas de información. En la modulación las dos tecnologías tienen la misma importancia porque ofrecen mayor velocidad y también utilizan la misma codificación para corrección de errores. Como conclusión de este análisis se comprueba que Wifi es superior a Lifi permitiendo transmitir eficientemente la información.

3.1.2.2. Puntuación Parcial

A continuación se expone una tabla en la que se encuentra la calificación obtenida en Lifi y Wifi en cada uno de los índices.

Tabla 1-3: Puntajes parciales de los índices

Indicador	Índices	Tecnología	
		Lifi(802.15.7)	Wifi(802.11n)
Transmisión	Confiabilidad	1	3
	Velocidad	3	2
	Ancho de banda	3	2
Propagación	Alcance	1	3
	Velocidad de propagación	2	2
	Perjudica a la salud	1	3

Atenuación	Pérdida de la señal	2	1
	Grado de atenuación por obstáculos	2	1
Dispersión	Índice de refracción	2	2
	Longitud de onda	1	3
Modulación	Data rate	2	1
	FEC	1	2
TOTAL		21	25

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

3.1.2.3. Puntuación Total

En la Tabla 2-3 se muestra los valores máximos y el puntaje correspondiente a cada indicador.

Tabla 2-3: Puntajes totales de los indicadores

Indicador	Valor máximo	Lifi (802.15.7)		Wifi(802.11n)	
		Calificación	Porcentaje	Calificación	Porcentaje
Transmisión	9	7	77,77%	7	77,77%
Propagación	8	4	50%	8	100%
Atenuación	4	4	100%	2	50%
Dispersión	5	3	60%	5	100%
Modulación	4	3	75%	3	75%
TOTAL	30	21	70%	25	83,33%

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

Como se observa en la Tabla anterior Wifi lleva ventaja en relación a Lifi de acuerdo a los parámetros estudiados. Se concluye que Wifi presenta menor dispersión, mayor propagación, siendo estos los parámetros que pone en desventaja a Lifi, Lifi presenta sus ventajas en atenuación. Tanto Lifi como Wifi presentan la misma puntuación en la transmisión y modulación.

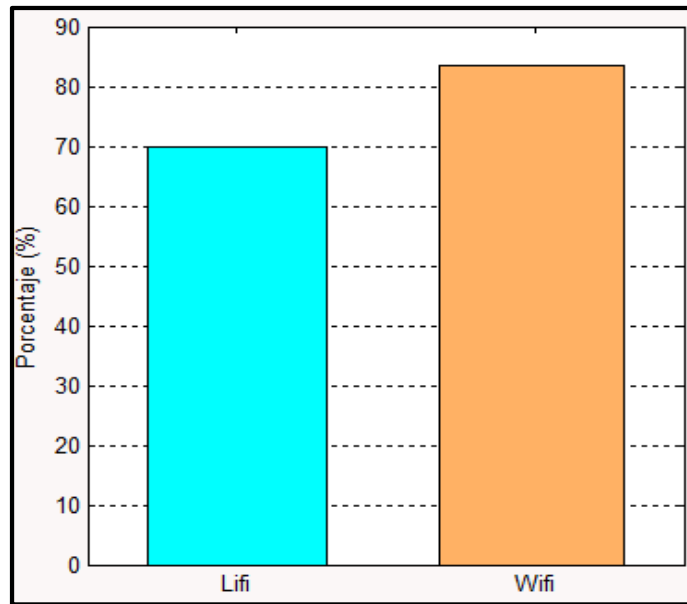


Figura 3-3. Gráfico del Porcentaje final de Lifi y Wifi

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

En la Figura 3-3 se observa que Wifi presenta mayor eficiencia y posee mejores prestaciones, con 13,33 % le lleva ventaja a Lifi.

3.1.3. Variantes Lifi y Wifi

Se realiza la comparación entre aspectos teóricos con la finalidad de determinar en qué punto uno es superior a otro.

Tabla 3-3: Variantes Lifi y Wifi

Variantes	Lifi (802.15.7)	Wifi (802.11n)
		802.11b (11Mbps)
		802.11a(54Mbps)
		802.11g (54Mbps)
	802.15.7 (1 GBps)	802.11n (300 Mbps)

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

Se puede observar en la Tabla 3-3 que Wifi presenta cuatro estándares certificados por la IEEE, en cambio Lifi no presenta variantes siendo este un aspecto importante ya que cada variante es la mejora de otra, Lifi presenta esta desventaja debido a que está recién llegando al mercado mundial como nueva tecnología y aún no existen variantes definidas. Por lo tanto en este aspecto Wifi le lleva ventaja a Lifi siendo superior por sus variantes.

3.1.4. Equipos Lifi y Wifi

3.1.4.1. Características de equipos Lifi

A continuación se visualizan los diferentes equipos Lifi a la venta en Oledcomm de Francia, esta es la primera empresa en disponer de estos equipos a la venta. Cabe recalcar que todos los kits son para sistemas de posicionamiento indoor GEOLifi.

GEOLifi XS KIT



Figura 4-3. GEOLifi XS KIT

Fuente: Oledcomm Francia. 2016

Este kit incluye:

- ❖ 3 Lámparas LED GEOLifi:
 - Rango de señal Lifi: 370 +- 20 cm en un ángulo de 30°
 - Consumo de energía eléctrica del LED + driver: 3.5 Watt.
 - Tensión: 220~250V.
 - Corriente: 0.036A.
- ❖ 1 Aplicación sobre localización para las 3 lámparas LED GEOLifi.

GEOLifi WW12 ROUND KIT



Figura 5-3. GEOLifi WW12 ROUND KIT

Fuente: Oledcomm Francia. 2016

Este kit incluye:

- ❖ 2 LÁMPARAS LED REDONDAS GEOLifi DE MONTAJE EN PLAFÓN.
Rango de la señal Lifi: por encima de 8m en un ángulo de 120°
Potencia total de entrada: 13W (+/-0.5W).
Voltaje y frecuencia de entrada: AC 85~265V 50/60Hz.
Corriente de salida: 300mA.
Temperatura de trabajo < 95°C.
- ❖ 1 Aplicación sobre localización para las 2 LÁMPARAS LED REDONDAS GEOLifi

GEOLifi SPOT KIT



Figura 6-3. GEOLifi SPOT KIT

Fuente: Oledcomm Francia. 2016

Este kit incluye:

- ❖ 2 Focos LED GEOLifi.
Rango de la señal Lifi: por encima de 10m a un ángulo de 120°.
Potencia total de entrada: 7W (+/-0.5W).
Voltaje y frecuencia de entrada: AC 220-240V 50/60Hz.
Corriente de salida: 350mA.
Temperatura de operación: -25°C a +45°C.
- ❖ 1 Aplicación sobre localización para los 2 Focos LED GEOLifi.

GEOLifi CW12 ROUND KIT



Figura 7-3. GEOLifi CW12 ROUND KIT

Fuente: Oledcomm Francia. 2016

Este kit incluye:

- ❖ 2 LÁMPARAS LED REDONDAS GEOLifi DE MONTAJE EN PLAFÓN
Rango de la señal Lifi: por encima de 8m, en un ángulo de 120°.
Potencia total de entrada: 13W (+/-0.5W).
Voltaje y frecuencia de entrada: AC 85~-265V 50/60Hz.
Corriente de salida: 300mA.
Temperatura de operación: 0~55°C.
Temperatura de trabajo: < 95°C.
- ❖ 1 Aplicación sobre localización para las LÁMPARAS LED REDONDAS

GEOLifi CW10 SQUARE KIT



Figura 8-3. GEOLifi CW10 SQUARE KIT

Fuente: Oledcomm Francia. 2016

Este kit incluye:

- ❖ 2 LÁMPARAS LED CUADRADAS GEOLifi DE MONTAJE EN PLAFÓN.
Rango de la señal Lifi: por encima de 7m en un ángulo de 120°.
Potencia total de entrada: 10W (+/-0.5W).
Voltaje y frecuencia de entrada: AC 85~-265V 50/60Hz.

Corriente de salida: 300mA.

Temperatura de operación: 0~55°C.

Temperatura de trabajo: < 95°C.

- ❖ 1 Tableta Android GEOLifi, Chipset Quad-Core MTK8389.
- ❖ 1 Dongle GEOLifi extra para ser usado con su smartphone.
- ❖ 1 Librería SDK GEOLifi.
- ❖ 1 Aplicación sobre localización para las LÁMPARAS LED CUADRADAS **GEOLifi**

WW10 SQUARE KIT



Figura 9-3. WW10 SQUARE KIT

Fuente: Oledcomm Francia. 2016

Este kit incluye:

- ❖ 2 LÁMPARAS LED CUADRADAS GEOLifi DE MONTAJE EN PLAFÓN
Rango de la señal Lifi: por encima de 7m, en un ángulo de 120°.
Potencia total de entrada: 10W (+/-0.5W).
Voltaje y frecuencia de entrada: AC 85~265V 50/60Hz.
Corriente de salida: 300mA.
Temperatura de operación: 0~55°C.
Temperatura de trabajo < 95°C.
- ❖ 1 Aplicación sobre localización para las 2 LÁMPARAS LED CUADRADAS GEOLifi DE MONTAJE EN PLAFÓN.

Nota: Cabe señalar que todos los kits incluyen los siguientes accesorios:

- 1 Tableta Android GEOLifi, Chipset Quad-Core MTK8389.
- 1 Dongle GEOLifi extra para ser usado con su smartphone.
- 1 Librería SDK GEOLifi.
- 1 plug europeo

- 1 audífono 3.5mm.
- 1 Cable USB.
- 1 Cargador USB.
- 1 Adaptador de carga con plug europeo.
- 1 Manual.

3.1.4.2. Características de equipos Wifi

A continuación se visualizan marcas de Router 802.11n con sus características técnicas.

Router D-link Dir-6051, Velocidad de 300 Mbps MyCloud Wifi 2 Antenas de 5 Dbi



Figura 10-3. Router D-Link Dir 6051

Fuente: Empresa IMPORT HK. 2016

Especificaciones técnicas:

- ❖ Especificaciones: IEEE 802.11n, IEEE 802.11g, IEEE 802.3, IEEE 802.3u
- ❖ Frecuencia de trabajo: 2.4 GHz to 2.4835 GHz
- ❖ Antenas: 2 Antenas Externas de 5dBi
- ❖ Seguridad: Wi-Fi Protected Access (WPA/WPA2), WPS™ (PBC/PIN)
- ❖ Funciones de Firewall: Network Address Translation (NAT), Stateful Packet Inspection (SPI), MAC Address Filtering, URL Filtering
- ❖ Indicadores LED: Power, Internet, WLAN, LAN, WPS
- ❖ Potencia de transmisión: 20dBm/100mW

TP-LINK TL-WR841HP



Figura 11-3. Router TP-LINK TL-WR841HP

Fuente: Empresa T-PLINK. 2016

Especificaciones técnicas:

- ❖ Dos antenas desmontables Omnidireccionales de 5 dBi
- ❖ Wifi mejorado penetra paredes y obstáculos eliminando zonas sin recepción
- ❖ Velocidad de 300 Mbps para el streaming de video, juegos en línea y VoIP
- ❖ 4 Puertos LAN de 10/100 Mbps, 1 puerto WAN de 10/100 Mbps
- ❖ Botón WPS / Reset
- ❖ Frecuencia de trabajo: 2,4 – 2,4835Ghz
- ❖ Seguridad Firewall
- ❖ Potencia de transmisión: 20 dBm/100mW

Router TP-LINK TL-WR841ND



Figura 12-3. Router TP-LINK TL-WR841ND

Fuente: Empresa TP-LINK. 2016

Especificaciones técnicas:

Velocidad inalámbrica de 300 Mbps

Encriptado: WPA/WPA2

2 antenas omnidireccionales de 5dBi

1 puerto WAN / 4 LAN 10/100Mbps

Frecuencia de trabajo: 2.4 – 2.4835 GHz

Potencia de transmisión: 20 dBm/100mW

Router Netis Wf2409



Figura 13-3. Router Netis Wf2409

Fuente: Empresa Netis. 2016

Especificaciones técnicas

Velocidad inalámbrica de 300 Mbps

3 Antenas MIMO de 5dBi

Modos de trabajo: Router, AP repetidor, AP +WDS, WDS, client

Red adicional separada Mutli-SSID

Compatibilidad: IEEE 802.11b/g/n

Frecuencia de trabajo: 2,4- 2,4835Ghz

Potencia de transmisión: 20dBm /100mW

3 Antenas de 5dBi

1 puerto WAN / 4 LAN 10/100Mbps

Router Tp-link Tl-wr842nd



Figura 14-3. Router Tp-link Tl-wr842nd

Fuente: Empresa TP-LINK. 2016

Especificaciones técnicas

1 puerto WAN / 4 LAN 10/100Mbps, 1 puerto USB 2.0

Velocidad inalámbrica de 300 Mbps

2 antenas omnidireccionales de 5dBi

Frecuencia de trabajo: 2,4 Ghz

4 SSID

Potencia de transmisión: 20dBm/100mW

Router Tp-link Wa901nd



Figura 15-3. Router Tp-Link Wa901nd

Fuente: Empresa TP-LINK. 2016

Especificaciones técnicas

Velocidad inalámbrica de 300 Mbps

Modos de trabajo: punto de acceso, cliente, Universal / WDS Repetidor, punto a punto, punto a multipunto

Hasta 4 SSID y VLAN

Encriptado: WPA / WPA2

Compatibilidad: 802.11b/g

4 Antenas desmontables de 4dBi omnidireccionales

1 puerto Ethernet 10/100 (RJ45)

Potencia de transmisión: 20dBm/100mW

3.1.4.3. Costo/ Beneficio Lifi y Wifi

Tabla 4-3: Costo / Beneficio Lifi y Wifi

COSTO	Lifi	Wifi
	GEOLifi XS KIT \$445	Router D-link Dir-6051, Velocidad de 300 Mbps MyCloud Wifi 2 Antenas de 5 Dbi \$29.99
	GEOLifi WW12 ROUND KIT \$556	TP-LINK TL-WR841HP \$55.99
	GEOLifi SPOT KIT \$445	Router TP-LINK TL-WR841ND \$37.99
	GEOLifi CW12 ROUND KIT \$556	Router Netis Wf2409 \$39.99
	WW10 SQUARE KIT \$556	Router Tp-link Wa901nd \$44.99
	GEOLifi CW10 SQUARE KIT \$556	

Realizado por: Deysi Tixi. 2016

Como se observa en la Tabla 4-3 se especifican los costos de los equipos tanto Lifi como Wifi, los equipos Lifi proporcionan una velocidad de 1 Gbps pero presenta costos elevados en relación a Wifi, en cambio Wifi brinda una velocidad de 300 Mbps y sus costos son bajos en relación a Lifi y están a alcance de todos los usuarios. Por lo tanto en este parámetro Wifi presenta una gran ventaja por sus equipos que son más económicos. La tecnología factible para implementar es Wifi por sus bajos costos.

CONCLUSIONES

- ❖ Con el análisis FODA se consigue indicar las Fortalezas y Oportunidades que las tecnologías presentan en el mercado, además las Debilidades que poseen porque sirven para la toma de decisiones al momento de implementar la tecnología, y las Amenazas que les afectan.
- ❖ Mediante el análisis comparativo de los parámetros de transmisión, propagación, atenuación, dispersión y modulación se permite conocer la tecnología inalámbrica que transmite eficientemente la información y presenta mejores prestaciones. Según el análisis realizado Wifi es superior con el 13,33 % en relación a Lifi, por ende Wifi es la tecnología inalámbrica que transmite eficientemente la información en entornos home.
- ❖ En el parámetro de transmisión Lifi y Wifi presenta igual eficiencia, en cambio en la propagación Wifi es superior que Lifi con una diferencia del 50%. En atenuación Lifi tiene la ventaja con del 40% ya que al tener una transmisión directa no tiene presencia de obstáculos, en la dispersión Wifi es superior a Lifi con el 50% ya que al presenta mayor longitud de onda se desvía menos la información, en la modulación las dos tecnologías alcanzan el mismo porcentaje con 75%.
- ❖ En las variantes de igual manera Wifi es superior a Lifi, ya que cada variante es una mejora de tecnología, en cambio Lifi como está en desarrollo aún no existen variantes hasta la fecha.
- ❖ En relación al costo/beneficio para ser implementada las tecnologías, Wifi resulta más económico implementar debido a sus bajos costos, con respecto a Lifi.
- ❖ Lifi es una tecnología que recién se está realizando investigaciones con equipos reales, es una tecnología nueva con referente a Wifi que ya se viene usando muchos años atrás.

RECOMENDACIONES

- ❖ Luego de realizar el presente trabajo de titulación se recomienda utilizar la tecnología Wifi porque presenta mejores parámetros de transmisión, propagación, atenuación, dispersión y modulación y con estos parámetros fundamentan una mejor calidad de señal.
- ❖ Se recomienda implementar la tecnología Wifi debido a los costos bajos de sus equipos en relación a Lifi y porque está al alcance de todos los usuarios, además transmite a una velocidad de 300 Mbps y alcanza mayor cobertura.

REFERENCIAS

- [1] **Albentia System.** *Modulación OFDM* [blog]. Vila, Pablo. 2013. [Consultado: 2 de Septiembre 2016]. Disponible en: <<https://albentia.wordpress.com/2013/09/05/modulacion-ofdm-wimax-madrid/>>
- [2] **América Lifi.** *Lifi* [en línea]. Chile. América Lifi. 2014. [Consulta: 10 de Agosto 2016]. Disponible en: <<http://www.americalifi.com/wp/>>
- [3] **Compras Compras.** *Compras Ecuador* [en línea]. Compras Compras. 2016 [Consultado: 4 de Septiembre 2016]. Disponible en: <<http://www.compracompras.com/ec/lista/1707/routers/filtros/pag-1/>>
- [4] **Consinfín.** *¿Qué es la comunicación inalámbrica (wireless)?* [en línea]. México. Consinfín. 2012. [Consultado: 2 de Mayo 2016]. Disponible en: <<http://consinfín.com/que-es-la-comunicacion-inalambrica-wireless/>>
- [5] **Culturación.** *¿Qué es una conexión WiFi? (II)* [blog]. Estados Unidos. Culturación. 2014. [Consulta: 26 de Junio 2016]. Disponible en: <<http://culturacion.com/que-es-una-conexion-wifi-ii/>>
- [6] **El Cajón de la verdad.** *Tecnología OFDM* [blog]. Estados Unidos. G, Antonio. 2013. [Consulta: 6 de Julio 2016]. Disponible en: <<http://elcajondelaverdad.blogspot.com/2013/02/tecnologia-ofdm.html>>
- [7] **EVELIOUX.** *MIMO la próxima generación de la tecnología Wi-Fi* [en línea]. México. Martínez, Evelio. 2005. [Consulta: 1 de Julio 2016]. Disponible en: <<http://www.eveliox.com/mx/MIMO-la-proxima-generacion-de-la-tecnologia-Wi-Fi.html>>
- [8] **IEEE Computer Society.** Estándar IEEE 802.15.7. New York. 2011. pp. 4-258
- [9] **Frenzel, A; Carrasco, A; Monachesi, E & Chaile, M.G.** *Física de las Ondas Radioeléctricas dentro del Estándar IEEE 802.11b* [en línea] (*Trabajo de Investigación*). Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Tucumán. Argentina. 2010. pp. 2-6. Disponible en: <http://www.edutecne.utn.edu.ar/wlan_frt/fis_ondas_rad_IEEE802-11b.pdf>
- [10] **Galeon.com.** *Principales estándares 802.11* [en línea]. Estados Unidos. Silva, Jesús. [Consulta: 15 de Agosto 2016]. Disponible en:

<<http://ieeestandards.galeon.com/aficiones1573579.html>>

- [11] **Hard Maniacos.com.** *LiFi, la luz como método de transmisión de datos* [en línea]. España. Raffter. 2016. [Consulta: 29 de Abril 2016]. Disponible en: <<http://www.hardmaniacos.com/lifi-la-luz-metodo-transmision-datos/>>
- [12] **Hyperphysics.** *Colores del espectro* [en línea]. Universidad del estado de Georgia. M, Olmo; & R, Nave. 2008. [Consulta: 22 de Junio 2016]. Disponible en: <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/vision/specol.html>>
- [13] **La cueva Wifi.** *¿Qué es y que significa MCS en el estándar 802.11n?* [en línea]. La cueva Wifi. 2011. [Consulta: 22 de Junio 2016]. Disponible en: <<http://www.lacuevawifi.com/equipos-de-red/que-es-y-que-significa-mcs-en-el-estandar-802-11n/>>
- [14] **LAS TIC.** *Estándar Redes Locales Inalámbricas IEEE 802.11n ("Wi-Fi n")* [blog]. Estados Unidos. Moresco, Alfonso. 2012. [Consulta: 29 de Julio 2016]. Disponible en: <<http://ticylamejorasocial.blogspot.com/2012/04/estandar-redes-locales-inalambricas.html>>
- [15] **Mis libros de Networking.** *La tasa de transferencia de 802.11n* [blog]. Estados Unidos. G, Oscar. 2009. [Consultado: 1 de Septiembre 2016]. Disponible en: <<http://librosnetworking.blogspot.com/2009/01/la-tasa-de-transferencia-de-80211n.html>>
- [16] **Monografías.com.** *Modos de funcionamiento Wifi (802.11 o Wi-Fi)* [en línea]. Estados Unidos. Jiménez, Cristian. [Consulta: 23 de Agosto 2016]. Disponible en: <<http://www.monografias.com/trabajos90/modos-funcionamiento-redes-wifi/modos-funcionamiento-redes-wifi.shtml#ixzz492W7xnlm>>
- [17] **Monografías.com.** *Redes Inalámbricas* [en línea]. Estados Unidos. Turmero, Pablo. [Consulta: 10 de Julio 2016]. Disponible en: <<http://www.monografias.com/trabajos103/redes-inalambricas-banda/redes-inalambricas-banda.shtml>>
- [18] **Monografías.com.** *Tecnología Li-Fi (Light Fidelity)* [en línea]. Estados Unidos. Vicuña, María. [Consultado: 25 de Agosto 2016]. Disponible en: <<http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/tecnologia-li-fi-light-fidelity/tecnologia-li-fi-light-fidelity.shtml>>

- [19] **M, Pilar.** *Comparación de Sistemas CP-OFDM con ZP-OFDM* [en línea]. (Tesis Pregrado). Universidad de Sevilla. Dpto de teoría de la señal y comunicaciones. España. pp. 48. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11254/fichero/5_CAPITULO+1.pdf>
- [20] **Museo Informática.** *Historia de las redes inalámbricas* [blog]. España. R, Martor. 2010. [Consultado: 26 de Agosto 2016]. Disponible en: <<http://histinf.blogs.upv.es/2010/12/02/historia-de-las-redes-inalambricas/>>
- [21] **Navarrete, Carlos.** *Evaluación de la tecnología 802.11n con la plataforma OPNET* [en línea] (Tesis Pregrado). Universidad Politécnica de Catalunya. Facultad de Telemática. España. 2009. pp. 3-8. Disponible en: <<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/7834/memoria.pdf>>
- [22] **Observatorio Tecnológico.** *Redes Wifi: consideraciones generales* [en línea]. España. Samedí. 2011. [Consulta: 29 de Julio 2016]. Disponible en: <<http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/fr/cajon-de-sastre/38-cajon-de-sastre/961-monografico-redes-wifi?start=1>>
- [23] **Oledcomm. Lize.** *Lifi Store* [en línea]. Francia. Oledcomm Liza. 2016. [Consultado: 2 de Septiembre 2016]. Disponible en: <<http://www.oledcomm.mx/#comprar>>
- [24] **Peñafiel, Jesús.** *Análisis de la tecnología Li-Fi: Comunicaciones por luz visible como punto de acceso a internet, una alternativa a la transmisión de datos en las Comunicaciones Inalámbricas* [en línea] (Tesis Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana. Ingeniería Electrónica. Cuenca. 2015. pp. 1-5. Disponible en: <<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7770/1/UPS-CT004629.pdf>>
- [25] **Povey, Gordon.** *Visible Light Communications Store* [en línea]. Kirkcaldy, Reino Unido. Povey Gordon, 2011. [Consulta: 29 de Mayo 2016]. Disponible en: <<http://visiblelightcomm.com/an-ieee-standard-for-visible-light-communications/>>
- [26] **Redes Telemáticas.** *Modos de Funcionamiento de las Redes Wifi* [en línea]. González, MS. 2014. [Consultado: 29 de Agosto 2016]. Disponible en: <<http://redestelematicas.com/modos-de-funcionamiento-de-las-redes-wi-fi/>>
- [27] **SLIDESHARE.** *Tdd lte training material (agilent)* [en línea]. Estados Unidos. Bhanot,

- Sumant. 2014. [Consulta: 4 de Julio 2016]. Disponible en: <<http://www.slideshare.net/sumantbhanot/tdd-lte-training-material-agilent>>
- [28] **TARINGA.** *Te has preguntado cómo se ve la señal Wifi* [blog]. Estados Unidos. Lamm, Nikolay. 2013. [Consulta: 20 de Julio 2016]. Disponible en: <<http://www.taringa.net/posts/info/16967697/Te-has-preguntado-como-se-ve-la-senal-WiFi.html>>
- [29] **Tecnologías Inalámbricas.** *Evolución de las tecnologías Inalámbricas* [blog]. Estados Unidos. A, Jesús. 2012. [Consulta: 18 de Julio 2016]. Disponible en: <http://itizta2joatecnologiasinalambricas.blogspot.com/2012_11_01_archive.html>
- [30] **Tomasi, Wayne.** “*Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*”. Pearson Educación. México. 4ª ed. 2003. p. 300-490.
- [31] **Universidad de Buenos Aires.** *Fotófono* [en línea]. Buenos Aires. Constanza. 1880. [Consulta: 20 de Abril 2016]. Disponible en: <<http://proyectoidis.org/fotofono/>>
- [32] **WIFICLUB.** *Wifi: historia, evolución, aplicaciones, desarrollos* [en línea]. Estados Unidos. Wificlub. 2010. [Consulta: 6 de Agosto 2016]. Disponible en: <<http://www.wificlub.org/featured/wifi-historia-evolucion-aplicaciones-desarrollos/>>
- [33] **Wordpress.com.** *¿Qué es el Wifi N y sus diferencia con a/b/g?* [blog]. Wordpress. Ecuador. 2010. [Consultado: 20 de Agosto 2016]. Disponible en: <<https://thegeek10.wordpress.com/2010/08/09/%C2%BFque-es-el-wifi-n-y-sus-diferencia-con-abg/>>
- [34] **XTREMETECH.** *NTT Docomo sets 10Gbps mobile network speed record* [en línea]. New York. Anthony, Sebastian. 2013. [Consulta: 29 de Junio 2016]. Disponible en: <<http://www.extremetech.com/computing/149541-ntt-docomo-sets-10gbps-mobile-network-speed-record>>
- [35] **Y, Mohammed.** *Acceso a Internet vía Wifi- Wimax* [en línea] (Tesis Pregrado). Universidad Técnica de Telecomunicaciones. Departamento de Tecnología Electrónica. Madrid-Leganés. 2012. [Consultado: 30 de Agosto 2016]. Disponible en: <http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/15906/pfc_mohammed_el-yaagoubi_2012.pdf?sequence=1>

ANEXOS

ANEXO A. Asignación de canales de 802.11n en la banda de 2,4 GHz y 5 GHz

Asignación de canales para 2,4 Ghz		Asignación de canales para 5Ghz					
Canal	Frecuencia fc(Mhz)						
1	2412	Canal	Frecuencia fc(Mhz)	Canal	Frecuencia fc(Mhz)	Canal	Frecuencia fc(Mhz)
2	2417	184	4920	48	4240	120	5600
3	2422	188	4940	52	5260	124	5620
4	2427	192	4960	56	5280	128	5640
5	2432	196	4980	60	5300	132	5660
6	2437	208	5040	64	5320	136	5680
7	2442	212	5060	100	5500	140	5700
8	2447	216	5080	104	5520	149	5745
9	2452	36	5180	108	5540	153	5765
10	2457	40	5200	112	5560	157	5785
11	2462	44	5220	116	5580	161	5805
12	2467						
13	2472						
14	2484						

ANEXO B: GLOSARIO

Ancho de banda: en señales analógicas, el ancho de banda es la longitud medida en Hz, del rango de frecuencias en la que se concentra la mayor potencia de la señal.

Alcance: capacidad de cubrir una distancia.

Baliza: objeto señalizador, indica un lugar geográfico o situación de peligro potencial.

Codificación Manchester: combina un pulso de reloj y una señal de interés mediante una compuerta xor. XOR es 1 cuando los dos presentan diferente valor y es 0 cuando los dos presentan el mismo valor.

Data rate: o velocidad de transferencia de datos, define el número de bits que se transmiten por unidad de tiempo a través de un sistema de transmisión digital o entre dos dispositivos digitales.

FEC (Corrección de errores hacia adelante): sirve para recuperar datos alterados en el receptor y para ello utilizan bits adicionales, FEC reduce el número de transmisiones con errores, así como los requisitos de potencia de los sistemas de comunicación e incrementa la efectividad de los mismos evitando la necesidad del reenvío de los mensajes dañados durante la transmisión.

Frecuencia: cantidad de veces que sucede un movimiento periódico como puede ser una onda senoidal de voltaje o corriente durante determinado período.

Índice de refracción: es la relación de la velocidad de propagación de un rayo de luz en el espacio libre, entre la velocidad de propagación del rayo en determinado material.

LED (Diodos Emisores de Luz), se usan como indicadores y en iluminación. Los dispositivos actuales emiten luz de alto brillo en el espectro infrarrojo, visible y ultravioleta. Debido a su capacidad de operación a altas frecuencias, son útiles en comunicaciones.

Longitud de onda: distancia que ocupa en el espacio un ciclo de una onda electromagnética, es decir la distancia entre los puntos correspondientes en una onda repetitiva.

Luz visible: es una pequeña región del espectro electromagnético cuyas ondas tienen una longitud que va desde los 780 nanómetros de la luz roja a unos 380 en la violeta. Este espectro es la luz que percibe el ojo humano y nos permite ver los objetos. La luz blanca es el conjunto de todas las longitudes de onda del espectro visible en proporciones iguales.

Modulación: proceso de cambiar una o más propiedades de la portadora, en proporción con la señal de información.

Ondas de radio: Las ondas de radio son un tipo de radiación electromagnética. Una onda de radio tiene una longitud de onda mayor que la luz visible. Las ondas de radio se usan en las comunicaciones. Tienen longitudes en función de milímetros.

Transceptor: dispositivo que cuenta con un transmisor y receptor que comparten parte de la circuitería se encuentran dentro de la misma caja.

Velocidad: también conocida como la velocidad de conexión es el promedio de información que se transmite entre dos dispositivos por unidad de tiempo, en un sistema de transmisión.